

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNÉE 1931

THÈSE

N°

30

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Jacques AMIOT

Né à Douai, le 2 juillet 1899

Étude Électro-physiologique
du mode d'action
de la Diathermie

Sa vérification dans la Diathermie abdominale

Président : M. P. STROHL, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTE DE MÉDECINE

JOUE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1931



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551604_0059

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1931

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Jacques AMIOT

Né à Douai, le 2 juillet 1899

Étude Électro-physiologique
du mode d'action
de la Diathermie

Sa vérification dans la Diathermie abdominale

Président : M. P. STROHL, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1931

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	ROUVIÈRE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale . .	GRÉGOIRE.
Physiologie	BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	DESGREZ.
Bactériologie	LEMIERRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	CLERC.
Pathologie chirurgicale	LENORMANT.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MÉNÉTRIÉR.
Pathologie expérimentale et comparée	RATHERY.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	Maurice VILLARET.
Clinique médicale	{ CARNOT.
	{ BEZANÇON.
	{ ACHARD.
	{ Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance	LERÉBOULLET.
Clinique des maladies des enfants	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	TEISSIER.
Clinique chirurgicale	{ DELBET.
	{ CUNÉO.
	{ LEJARS.
	{ GOSSET.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	LEGUEU.
Clinique d'accouchements	{ COUVELAIRE.
	{ BRINDEAU.
	{ JEANNIN.
Clinique gynécologique	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	VAQUEZ.
Clinique oto-rhino-laryngologique	SEBILEAU.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Clinique de la tuberculose	Léon BERNARD.
Professeur sans chaire	MAUCLAIRE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ALAJOUANINE. Neurologie et Psychiatrie.
 CHAILLEY-BERT. Physiologie.
 AUBERTIN. . . Pathologie médicale.
 BÉNARD (H.). Pathologie médicale.
 BROCCQ . . . Pathologie chirurgicale
 BRULÉ. . . . Pathologie médicale.
 CADENAT . . Pathologie chirurgicale.
 CATHALA . . Pathologie médicale.
 CHABROL . . Pathologie médicale.
 CHEVALLIER. Pathologie médicale.
 DE GAUDART D'ALLAINES. Pathologie chirurgicale.
 DOGNON. . . Physique.
 DONZELOT . . Pathologie médicale.
 ÉCALLE . . . Obstétrique.
 FEY Urologie.
 GARNIER . . Pathologie expérimentale
 GASTINEL . . Bactériologie.
 GATELLIER . Pathologie chirurgicale
 GIROUD . . . Histologie.
 HARVIER. . . Pathologie médicale.
 HAZARD . . . Pharmacologie.
 HOVELACQUE Anatomie.
 HUGUENIN. . Anatomie pathologique.
 HUTINEL. . . Pathologie médicale.
 JOANNON. . . Hygiène.
 LABBÉ (Henri) Chimie biologique.

MM.

LAROCHE(G.) Pathologie médicale.
 LEMAITRE. . Oto-rhino-laryngologie.
 LEVEUF . . . Pathologie chirurgicale.
 LÉVY-VALENSI. Neuro-psychiatrie.
 LIAN. Pathologie médicale.
 MILLOT . . . Histologie.
 MONDOR. . . Pathologie chirurgicale.
 MOREAU. . . Pathologie médicale.
 MOULONGUET. Pathologie chirurgicale.
 MOURE. . . . Pathologie chirurgicale.
 MULON. . . . Histologie.
 OBERLING. . Anatomie pathologique.
 OLIVIER. . . Anatomie.
 PIÉDELIEVRE Médecine légale.
 PORTES . . . Obstétrique.
 QUÉNU. . . . Pathologie chirurgicale.
 RICHEL. . . . Physiologie.
 SANNIÉ . . . Chimie biologique.
 SÉZARY . . . Dermatologie et Syphiligraphie.
 VALLERY-RADOT
 (Pasteur) . . Pathologie médicale
 VAUDESCAL. Obstétrique
 VELTER. . . . Ophtalmologie.
 VERNE. . . . Histologie.
 VIGNES. . . . Obstétrique.

III.—AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

MM.

BUSQUET . . Pharmacologie.
 GUÉNIOT. . . Obstétrique.
 LEQUEUX . . Obstétrique.
 LEROUX. . . Anatomie pathologique.

MM.

NEVEU-LEMAIRE. Parasitologie
 RETTERER. . Histologie.
 ZIMMERN. . . Physique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

MM.

ABRAMI . . . Clinique médicale.
CHIRAY . . . Clinique médicale.
DEBRÉ . . . Clinique médicale.
DUVOIR . . . Clinique médicale.
FIESSINGER. Clinique médicale.
LAIGNEL-LAVASTINE. Clinique méd.
BASSET . . . Clinique chirurgicale.
CHEVASSU. Clinique chirurgicale.

MM.

HEITZ-BOYER. Clinique chirurgicale.
MATHIEU . . Clinique chirurgicale.
MOCQUOT . . Clinique chirurgicale.
PROUST . . . Clinique chirurgicale.
SCHWARTZ . . Clinique chirurgicale.
LE LORIER . . Clinique chirurgicale.
LEVY-SOLAL. Clinique obstétricale.
METZGER . . . Clinique obstétricale.

V. — CHARGÉS DE COURS

MM. MAUCLAIRE, professeur sans chaire	{	Chargé du cours de chirurgie orthopédique chez l'adulte pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes adultes.
FREY.		Stomatologie,
CHAILLEY-BERT . Agrégé .		Education physique.
LEDoux-LEBARD		Radiologie clinique
WEILL-HALLÉ.		Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions, émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.



A M. LE PROFESSEUR STROHL

Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris

En témoignage de notre admiration et en remerciement de l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de notre thèse.

A MES MAÎTRES DANS LES HOPITAUX

Stage :

M. LE PROFESSEUR SERGENT

Professeur de clinique propédeutique à la Faculté

M. LE PROFESSEUR GOSSET

Professeur de Clinique chirurgicale à la Faculté

Externat :

A LA MÉMOIRE DE M. LE DOCTEUR LÉRI

A LA MÉMOIRE DE M. LE DOCTEUR PAUL RIBIERRE

A M. LE DOCTEUR LOUIS DELHERM

Chef du service d'électro-radiologie à l'hôpital de la Pitié

*Chez qui nous avons recueilli
les observations cliniques, pour ce
travail dont il a été l'inspirateur.*

MEIS ET AMICIS

AVANT-PROPOS

L'idée de ce travail nous a été fournie par notre maître le Dr Delherm alors que nous étions élève dans le service modèle qu'il dirige à la Pitié, nous lui en sommes particulièrement reconnaissant car immédiatement séduit par le sujet, nous étions loin de nous douter de tout l'intérêt qu'il suscitait et des multiples problèmes qu'il posait et qu'il était nécessaire d'élucider.

Pour des raisons matérielles indépendantes de notre volonté la durée de notre travail s'est trouvée augmentée et il nous est arrivé à plusieurs reprises d'être obligé d'abandonner pour un temps plus ou moins long, un chapitre en cours.

Au cours de tout travail particulièrement attachant, l'inconscient élabore constamment de nouveau pourquoi que le conscient essaye de solutionner. Il en est ainsi de toute recherche et ce véritable va-et-vient de la pensée, de la sphère du conscient à l'inconscient, de l'intuition à la logique, entraîne des remaniements incessants qui peuvent être la source d'idées fécondes.

Des hypothèses ou des conclusions ayant été vérifiées ou infirmées par des expériences contemporaines

de notre travail, nous avons dû en reprendre totalement certaines fractions. C'est ainsi que nous avons été amené à modifier ou plutôt à étendre l'orientation de notre étude.

Parti de l'idée d'étudier la diathermie abdominale, étude presque exclusivement clinique, nous avons été frappé de tout ce qu'il y avait encore d'imprécis dans le mécanisme de l'action de la diathermie et dans les explications diverses et parfois contradictoires que l'on en fournissait.

Convaincus alors de l'intérêt qu'il y avait à bien connaître les lois régissant cette action, l'étude du courant utilisé nous a paru liée indissolublement à son action physiologique et thérapeutique.

Ainsi le titre de notre travail est devenu : *Etude électro-physiologique du mode d'action de la diathermie, sa vérification dans la diathermie abdominale.*

Dans quelques cas où nous avons dû émettre des hypothèses nous pensons être restés strictement scientifiques nous efforçant d'éviter de laisser vagabonder notre imagination vers des spéculations par trop métaphysiques auxquelles nous avons préféré un exposé rigoureux des faits.

L'étude est peut-être un peu aride ; qu'on veuille bien nous le pardonner.

* * *

Nous envisagerons au cours de cette étude :

1^o L'histoire de la diathermie ;

2^o Les données générales d'électro-technie.

a) La nature intime de l'électricité ;

b) Les propriétés spéciales des courants alternatifs ;

c) La propagation des courants de haute fréquence.

3^o Le mode d'action physiologique de la diathermie ;

4^o Comparaison entre les appareils à lampe et à éclateur ;

5^o Les mesures ;

6^o La technique des applications. Les incidents ;

7^o Les indications et les résultats cliniques ;

8^o Accessoirement on trouvera un chapitre consacré aux différentes expériences de laboratoire et à l'étude critique.

* * *

Avant de commencer ce travail c'est un devoir pour nous de venir adresser nos remerciements à ceux qui nous ont aidés de leurs conseils ou dont le concours généreux nous a été d'autant plus précieux que leur nombre en a été restreint.

Nous sommes, en tout premier lieu, reconnaissants à notre Maître M. le Dr Delherm pour les facilités qu'il nous a donné dans son service où la plupart des observations ont été recueillies. Il a suivi l'évolution des maladies et vérifié l'action thérapeu-

tique avec une conscience à laquelle tout clinicien doit rendre hommage.

Il nous avait recommandé auprès des Constructeurs pour la réalisation des expériences que nous voulions réaliser. Malheureusement nos premières expériences s'éloignant trop de l'intérêt commercial immédiat ne rencontrèrent pas de réalisateurs. Devant cette carence, nous avons dû construire nous-mêmes des appareils rudimentaires.

Ce travail fût long mais couronné de succès et le résultat crucial de certaines expériences nous a permis de faire une opinion précise et justifiée.

Nous tenons à remercier M. Chenaille qui s'est offert spontanément pour nous aider à compléter nos recherches, ainsi que ses ingénieurs, MM. Brodart et Coudert qui se sont toujours montrés remarquablement complaisants. Leurs ateliers nous ont été largement ouverts ainsi que le Laboratoire de recherches de la Maison.

Étude Électro-physiologique du mode d'action de la Diathermie

Sa vérification dans la Diathermie abdominale

HISTORIQUE

Nous serons très bref sur ce sujet. Une mise au point absolument complète et juste a été faite à la Société Française d'électro-radiologie par le Dr Laquerrière à la fin de l'année 1930 (1) on y trouvera un résumé chronologique des principales étapes de l'évolution de la diathermie. Ce sur quoi nous voulons simplement attirer l'attention c'est que l'on doit placer l'origine de l'emploi de la diathermie vers 1898 lorsque le Professeur D'Arsonval fit passer au travers du corps un courant de 1 ampère à la Société Internationale des électriciens.

De même il faut aller rechercher les premières explications du mode d'action physiologique dans des expériences du même auteur faites en 1878 sur le mécanisme d'excitations électrique des nerfs et des muscles. En 1889-1890 dans son cours au collège de France sur l'action des interruptions crois.

santes. En 1892 sur l'effet physiologique de l'état variable en général et des courants alternatifs en particulier.

Ces recherches sont extrêmement fécondes. Le grand nom du Professeur D'Arsonval domine toute la haute fréquence médicale et c'est en ayant constamment bien présent à la mémoire le résultat de ses expériences que l'on peut seulement avec fruit tenter d'approfondir la connaissance du mode d'action de la haute fréquence.

PREMIÈRE PARTIE

DONNÉES GÉNÉRALES D'ÉLECTRO-TECHNIQUE

De la nature intime de l'électricité.

La théorie corpusculaire.

L'électricité est la manifestation des modifications et déplacements de l'électron lequel est le constituant de la matière (prise dans son sens le plus large).

Il en est inséparable au même titre que les modifications chimiques et insensiblement, en passant par l'électrochimie, la théorie électronique moderne nous fait passer de l'un à l'autre sans que l'on puisse remarquer à un moment quelconque une frontière délimitant nettement le domaine de chacun.

Puisque l'électron constituant de la matière, est la cause de toutes les forces qui se manifestent sous le nom d'électricité, il s'ensuit, ce que nous ne devons plus oublier par la suite, que loin d'être

une entité plus ou moins vaporeuse l'électricité à *une structure matérielle*.

Pour le physicien d'aujourd'hui l'atome représente depuis longtemps déjà la plus petite quantité qui puisse exister d'un corps et est constitué par un système rigoureusement analogue, à l'échelle microscopique, à un système solaire. Un noyau central (soleil) voit graviter autour de lui de nombreux satellites beaucoup plus petits (terre, lune) qui sont les électrons. Ces satellites plus ou moins nombreux vont contribuer à caractériser le corps.

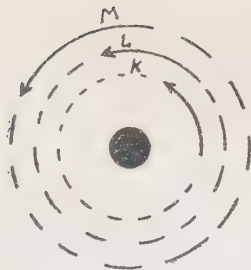
Le noyau représente presque toute la masse de l'atome, on sait actuellement qu'il est constitué lui-même par un système complexe composé d'éléments semblables aux électrons de la périphérie de l'atome et de « grains » d'électricité positive que l'on a dénommé protons.

Le proton (obtenu à l'état libre pour la première fois par Rutherford) maintient les électrons en équilibre ; il n'intervient jamais dans les manifestations électriques et c'est pourquoi nous n'aurons plus à nous en préoccuper par la suite.

Ce noyau exerce une attraction qui maintient les électrons périphériques et suivant sa puissance d'attraction on conçoit facilement qu'il en maintienne plus ou moins.

A une distance très grande (par rapport à celle du noyau et de l'électron) et comparable à celle qui sépare le soleil de ses satellites on rencontre une ou plusieurs couches d'électrons. Ceux-ci étant



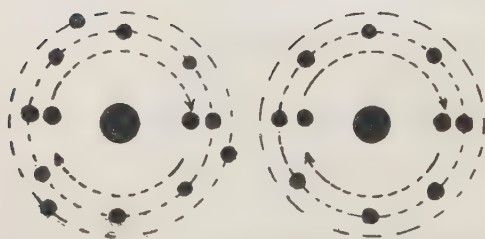


La constitution schématique des corps. —
Un noyau central gros et chargé positivement. — Le proton — possède une ou plusieurs couches de satellites — électrons — gravitant autour de lui.

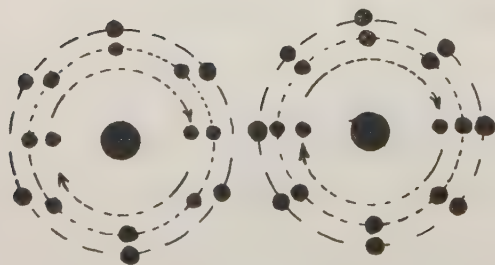


Les deux corps les plus simples que l'on connaisse :

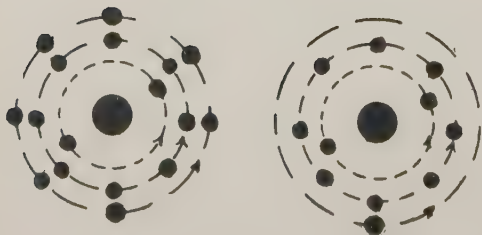
- A. — L'Hydrogène : qui n'a qu'une couche à un seul électron.
- B. — L'Hélium : qui n'a qu'une seule couche comprenant deux électrons.



Un corps conducteur : l'Aluminium, il a 13 électrons dont 3 périphériques, la charge positive du noyau est à peine suffisante pour maintenir ces électrons ; aussi les perd-t-il pour devenir Ion. Il est alors chargé positivement.



Un corps isolant, le soufre, il fixe des électrons pour devenir Ion.



Le Chlorure de sodium formé de la soudure de l'ion. Chlore à l'ion Sodium. — Cette soudure s'effectue par l'intermédiaire de l'électron périphérique *unique* de la couche M du sodium, qui vient compléter à 8 le nombre des électrons de la même couche du Chlore.

d'autant plus nombreux que le corps est plus lourd. C'est ainsi que le corps le plus simple que l'on connaisse, l'hydrogène ne comprend qu'une couche composée d'un seul électron (fig. 1). L'hélium (fig. 1 bis) qui ne comprend aussi qu'une couche, possède deux électrons. Au delà de nouvelles couches d'électrons s'ajoutent à la première qui ne comprend que deux électrons (on le dénomme couche K et les suivants par les lettres de l'alphabet qui lui font suite L, M, N, O, etc...) (fig. 2).

Ce sont de ces couches d'électrons et plus particulièrement de la couche la plus externe que vont dépendre les propriétés physico-chimiques des corps. C'est ainsi que l'hydrogène et l'hélium dont nous avons parlé, doivent à leur simplicité extrême d'être des gaz les plus légers que l'on connaisse. C'est ainsi de même que s'explique la formation et les propriétés des ions et plus particulièrement le fait qu'un corps est conducteur ou isolant (de l'électricité comme de la chaleur).

L'aluminium, le cuivre, l'argent, perdent tous des électrons périphériques pour devenir ions et ce sont de bons conducteurs de l'électricité (1).

L'étude généralisée montre que tous les corps bons conducteurs ont peu d'électrons périphériques et qu'ils les perdent tous assez facilement : les corps isolants au contraire, fixent des électrons

1. Il n'y a pas à proprement parler de corps bon conducteurs ou mauvais conducteurs, il n'y a que des corps plus ou moins conducteurs.

supplémentaires et n'en abandonnent jamais. Ils ont toujours beaucoup d'électrons périphériques (fig.).

Tous comme les systèmes astraux les électrons satellites périphériques sont animés de mouvement. Dans les corps conducteurs, ce sont ces électrons qui relativement plus mobiles que les autres, sautent d'un atome à un autre désordonnément et nous verrons que ces sauts d'électrons orientés, tous plus ou moins dans le même sens, transmettent le courant.

Voici un corps électriquement neutre : il perd un électron et le voilà électrisé positivement. En voici un autre qui fixe un électron supplémentaire et le voilà électrisé négativement. On voit alors nettement que l'électricité n'est que la manifestation des équilibres même de la manière et il nous reste pour finir à indiquer ce qu'est le courant électrique.

Considérons deux points séparés électriquement dont l'un présente un défaut d'électrons (pôle positif) et l'autre un excès d'électrons (pôle négatif) réunissons les par un conducteur (fil de cuivre) les électrons en excès en négatif vont se précipiter en pôles positifs où il en manque jusqu'au moment où l'équilibre sera rétabli. Il y aura donc courant d'électrons du négatif vers le positif ce qui nous montre que le courant électrique circule exactement en sens inverse de celui qu'on lui avait arbitrairement attribué autrefois.

Bien établi, le fait que l'électricité a une structure matérielle et est inséparable de la matière, il con-

viendrait maintenant de se rendre compte en détail de la manière dont se fait la propagation dans les différents milieux. Mais étant donné l'importance de cette étude lorsqu'il s'agit des courants de haute fréquence, nous avons cru bon de lui réserver un chapitre spécial.

Le courant producteur.

Ses propriétés spéciales.

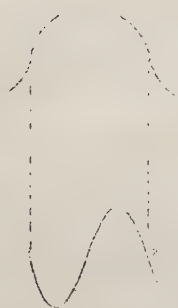
Le courant utilisé pour les applications de diathermie n'étant qu'une forme particulière du courant alternatif toutes ses propriétés découleront logiquement des lois auxquelles obéissent les courants alternatifs simples. En conséquence la parfaite connaissance de ces lois permet de ne pas s'étonner devant certains phénomènes en apparence paradoxaux et mieux même de les prévoir et de produire ceux que l'on désire.

Rappelons d'abord que :

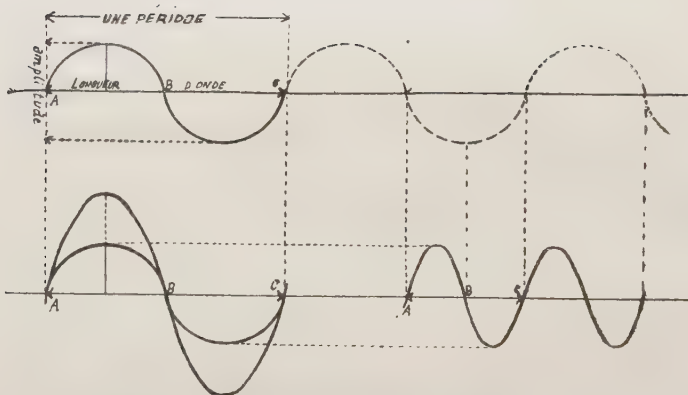
Le courant alternatif est caractérisé par une variation périodique double : il change de sens, (variation de polarité) il change de valeur (variation de tension et d'intensité).

On peut tracer un graphique de cette variation qui montre que le courant augmente, passe par un maximum puis diminue, (variation de valeur) jusqu'à devenir nulle. La polarité s'inverse alors (variation de sens) et de nouveau le courant croît pour passer par un maximum puis décroître etc...

Le cycle que nous venons de décrire recommence indéfiniment.



Alfred A. [illegible]



FRÉQUENCE =
AMPLITUDE Double

AMPLITUDE =
FRÉQUENCE Double

Il constitue une période et le nombre de cycle décrit (de période) par seconde (unité de temps) constitue la fréquence. Le courant alternatif du secteur à Paris ayant une fréquence de 50 périodes par seconde, le produit de la fréquence par la quantité fixe $2\pi = 2\pi F$ est souvent employée dans les calculs, elle constitue la pulsation du courant alternatif.

Si l'on veut bien se rappeler (lois de Faraday sur l'induction) l'importance primordiale de la variation de flux dans la production des courants induits, on comprendra tout l'intérêt qu'attachent les physiciens à la pulsation du courant alternatif.

Un point important dans les effets des courants alternatifs est la manière dont ils se comportent dans les circuits comprenant soit des selfs, soit des capacités, soit des selfs et des capacités réunies. L'intensité des phénomènes dépendant de la vitesse de variation du flux, on se rend compte de l'importance que présente celle-ci et par conséquent de la raison pour laquelle la formule précédente revient sans cesse dans tous les calculs de courants alternatifs puisque quel que soit le sujet étudié, quel soit la complexité de celui-ci, la *pulsation* joue son rôle.

Elle caractérise la nature essentiellement variable du courant producteur de l'effet.

La tension d'un courant alternatif, nous l'avons rappelé et un coup d'œil sur la courbe le montre à l'évidence passe par une infinité de valeurs comprises entre 0 et un maxima. Les appareils de mesure

n'indiquant qu'une valeur fixe, il faut préciser que celle-ci correspond à une valeur *moyenne*, égale à celle d'un courant continu qui produirait les mêmes effets calorifiques. On déduit facilement de cette notion que dans la plus part des calculs c'est cette valeur qui présente de l'intérêt. Cependant dans certains cas (pour le calcul des isolements nécessaires par exemple) c'est la tension maxima ou comme l'on dit souvent : la tension de pointe qui est intéressante à connaître, aussi nous préciserons qu'il est facile de passer de l'une à l'autre, la tension efficace étant liée à la tension de pointe par le rapport $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (1).

On ne s'étonnera donc pas de rencontrer ce terme dans certaines formules où sa présence signalera l'importance de la tension maxima pour ce phénomène particulier (2). Le mouvement d'accélération des électrons et l'orientation de leur trajectoire dans un sens déterminé constitue, nous le verrons plus loin, le courant au travers du conducteur ; il se transmet à la vitesse de 300.000 km. par seconde que l'on a pris l'habitude de considérer comme la vitesse de l'électricité. L'étude que nous ferons de la propagation du courant électrique nous montrera à quoi corres-

1. On démontre mathématiquement que la puissance moyenne d'un générateur dont la puissance variable est déterminée par une courbe sinusoidale est dans le rapport de $1,414 = \sqrt{2}$ avec les valeurs maxima atteintes par le générateur.

2. Et plus particulièrement dans les élévations de tension dues aux phénomènes de résonance.

pond exactement cette vitesse. Quoi qu'il en soit, durant une période du courant alternatif, la propagation du mouvement d'orientation s'est faite suivant une certaine longueur du conducteur. Elle se fait en sens inverse pendant la demi-période suivante. On appelle longueur d'onde la distance parcourue par le courant pendant la durée d'une oscillation complète. Un examen du graphique du courant suffit à faire comprendre que la longueur d'onde est d'autant plus courte que la fréquence est plus grande c'est d'ailleurs un phénomène que la diffusion de la T. S. F. a rendu particulièrement banal.

La variation d'un courant alternatif peut être constamment la même, la tension maxima reprenant périodiquement la même valeur. On dit alors que l'on a affaire à une onde entretenue. Elle peut diminuer, aussi, plus ou moins rapidement de la valeur pour arriver à disparaître totalement. On dit alors que l'onde s'amortit. Elle peut enfin varier d'intensité en diminuant, puis en augmentant d'une manière capricieuse, on dit alors que l'onde est modulée et c'est le cas que l'on rencontre dans la téléphonie sans fil.

Les effets particuliers aux courants alternatifs se montrent surtout lorsque les circuits d'utilisation présentent de la self induction ou de capacité : nous commencerons par étudier les effets paradoxaux dus à la présence d'une self.

Effet d'une self.

On sait que tout conducteur parcouru par un courant alternatif est le siège d'un champ magnétique variable et l'on sait que réciproquement un conducteur soumis à une variation de champ magnétique est le siège d'un courant. Le courant initial crée donc au travers du conducteur qu'il traverse un second courant qui lui est superposé, c'est ce phénomène qui constitue la self induction.

Avec le courant continu, les phénomènes sont réduits au minimum puisque le courant de self induction n'existe qu'autant qu'il y a de variations de flux, ce qui ne se produit qu'à l'établissement ou à la rupture du courant.

Avec les courants alternatifs, au contraire, la variation continuelle de la valeur du flux entraîne logiquement des phénomènes de self induction continuels et très importants. La variation de flux étant proportionnellement à la fréquence plus celle-ci sera grande plus les effets de la self seront marqués. On devine ainsi tout de suite l'intensité qu'ils acquièreront avec les courants de haute fréquence.

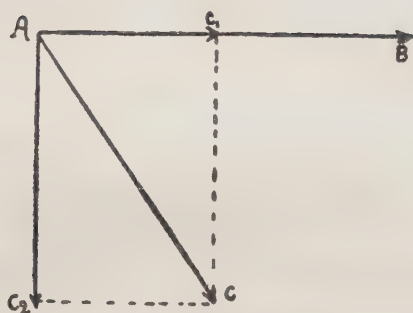
Le sens du courant induit étant tel que le flux qu'il produit tend toujours à s'opposer au flux qui lui a donné naissance. Le flux magnétique produit par le courant traversant la bobine de self éprouvera de la difficulté à s'établir et par contre-coup le courant se trouvera *retardé* : l'intensité du courant

sera en retard sur la tension aux bornes de la bobine alors qu'avec un courant continu elle variait absolument parallèlement. Il arrivera donc que le courant continuera à croître alors que la tension a déjà passé par son maximum et est en train de décroître. On en déduit immédiatement l'impossibilité d'obtenir la puissance en watts en faisant le produit de la tension par l'intensité puisque ces valeurs ne se produisent plus en même temps. Nous signalerons un peu plus loin les moyens de mesurer exactement cette puissance. Le tracé de la courbe de variation de l'intensité de la tension fait bien comprendre ce phénomène et l'écart sur l'axe des abscisses entre deux points de chacune des courbes ayant la même valeur mesure le décalage du courant.

Les calculs sur les courants alternatifs seraient d'une complication extrême à effectuer directement si l'on ne disposait d'un subterfuge pour les effectuer, celui-ci est l'emploi des vecteurs. Ils ont le double avantage de fournir la solution mathématique et de bien faire comprendre à première vue l'aspect du phénomène. Ils consistent essentiellement à représenter les valeurs de la tension et de l'intensité par des vecteurs (segments de droite) dont la longueur est proportionnelle à leur valeur et que l'on oriente sur le cercle trigonométrique en raison de leur origine dans le temps. Une simple construction (parallélogramme des forces) permet alors d'obtenir instantanément la résultante de ces deux vecteurs. Inversement une décomposition de

la résultante entre ses deux composants permet de résoudre en cas de nécessité les problèmes inverses.

Considérons par exemple, une bobine de self telle que celle employée à l'entrée des circuits des appareils de diathermie à éclateur, que l'on met en communication un réseau à courant alternatif. L'expérience montre qu'une bobine de self dont la résistante est négligeable décale presque le courant de 90° sur la tension. Un tel courant décalé de 90° est fréquemment dit courant déwatté (expression impropre mais qui indique bien que le compteur du fournisseur de courant ne l'enregistre pas). Traçons le vecteur A B représentant la tension appliquée à la bobine, soit 110 volts. Traçons maintenant le vecteur A C décalé en arrière par exemple de 80° , la longueur A C représentant l'intensité circulant dans la bobine et indiquée par un appareil de mesure, soit dix ampères. Cette intensité A C peut être décomposée (calcul simple relatif aux forces étudiées en détail aux cours des études scolaires) en deux forces équivalentes A C1 et A C2. Ces deux forces sont elles rigoureusement perpendiculaires l'une à l'autre A C2 se manifeste au moment où la tension est nulle la puissance à ce moment est donc nulle (tout nombre multiplié par 0 donne 0) A C1 au contraire, se manifeste au moment où la tension a sa pleine valeur, il est en concordance de phase avec cette tension. Le produit de la tension par cette valeur de A C1 donne donc bien la puissance



L'EMPLOI DES VECTEURS

La tension est représentée par le segment AB.

L'intensité AC est décomposée en 2 vecteurs AC, et AC² qui sont l'un en phase, l'autre totalement déphasé par rapport à la tension.

Le calcul des puissances est alors grandement simplifié.

réelle consommée par la bobine (on se retrouve dans le cas du courant continu).

Au simple examen de la figure on voit tout de suite que le produit $A B \times A C$ est beaucoup plus petit que celui de $A B \times A C$ qui ne représente pas la puissance réelle et que l'on serait tenté de faire pour obtenir celle-ci.

Autrement dit, une bobine de self consomme fort peu d'énergie en réalité et absorbe une énergie considérable en apparence. C'est pour cette raison que l'on appelle le premier produit $A B \times A C$ puissance active ou réelle et le second $A B \times A C$ puissance réactive ou apparente.

En résumé les bobines de self décalent le courant sur la tension, en consommant une énergie apparente beaucoup plus considérable que celle réelle.

Effet d'une capacité.

Dans son allure générale il est semblable à celui d'une self, mais il est exactement inverse dans les décalages produits.

Une capacité avance l'établissement du courant sur la tension ou si l'on préfère, et ce qui revient au même; la tension est en retard sur le courant. De plus, si l'isolement du condensateur est bon (condition facile à réaliser) le décalage est exactement de 90° soit $1/4$ de période. La tension a son maximum quand l'intensité est nulle et réciproque-

ment au moment du maximum de l'intensité la tension passe par zéro : l'énergie consommée est toujours nulle.

En résumé, avec les capacités, la puissance apparente est variable et souvent considérable, mais pour une puissance active ou réelle, nulle, dans tous les cas.

Cas des circuits présentant une self et une capacité.

Comme pour le sans-filiste, ce cas est des plus intéressants pour le médecin. En réfléchissant tant soit peu il saute à l'idée en effet que self et capacité ayant des effets diamétralement opposés doivent se neutraliser tout au moins dans une certaine mesure.

C'est justement cette neutralisation qui constitue ce que l'on appelle la résonance.

On a imaginé de nombreuses comparaisons (telle celle du sonneur de cloches) pour faire comprendre ce qu'est la résonance. Nous estimons avec beaucoup de physiciens que ces comparaisons n'ont qu'une valeur tout à fait relative et qu'elles font beaucoup moins bien comprendre le phénomène que l'explication réellement scientifique et électrique.

La propriété essentielle de la bobine de self étant de retarder, de freiner en quelque sorte le courant, il s'ensuit qu'elle limite l'intensité de celui-ci très au-dessous de la valeur qu'il aurait simplement en

fonction de la résistance de la bobine. De là le nom de bobine de *réactance* donné souvent à la bobine de self.

Or, il n'y a pas de circuit d'appareil qui ne constitue une self (1) et l'intensité s'y trouve donc limitée à une certaine valeur par suite de la réactance de celle-ci. Une capacité associée à ce circuit peut dans certains cas, faire totalement disparaître cette réactance et elle permet ainsi de faire circuler dans l'appareil un courant beaucoup plus intense ; l'intensité n'étant plus en effet limitée que par les résistances de l'enroulement qui peut être réduite à volonté par l'emploi d'un conducteur suffisamment gros.

Mais il y a deux manières de grouper ensemble une self et une capacité : elles peuvent être soit en série, soit en parallèle (comme pour les groupements de piles) de là deux grandes classes de résonance qui, nous allons le voir, sont en quelque sorte l'opposé l'une de l'autre. Ce sont la résonance série et la résonance parallèle. C'est une chose sur laquelle la plupart des livres sont muets et nous avons pu nous rendre compte qu'elle entraîne fréquemment les plus grandes confusions.

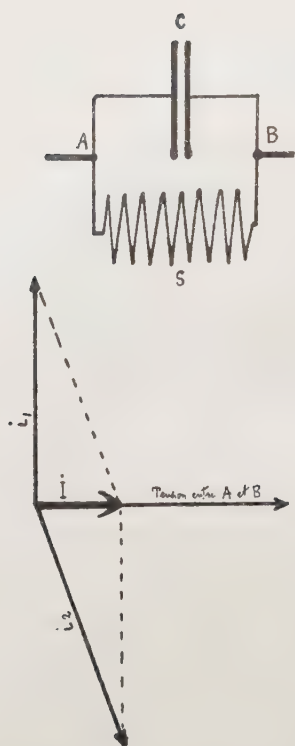
1. Puisque tout appareil suppose des conducteurs plus ou moins longs et que tout conducteur est le siège de self induction. Les bobines ne sont qu'un moyen de concentrer sous un petit volume la self d'un conducteur très long.

Résonance série.

Le courant après avoir traversé la self passe par le condensateur, il est impossible que le courant qui traverse l'un ne traverse pas l'autre, la quantité d'électricité est la même pour chaque appareil mais la manière de s'y comporter peut être fort différente. Un graphique des vecteurs permet facilement d'étudier le phénomène. On part d'un vecteur AB représentant l'intensité commune aux deux appareils et l'on recherche comment se comportent la tension aux bornes de chacun des deux appareils (fig.). On voit tout de suite au simple examen de la longueur des vecteurs que la tension aux bornes de la self et de la capacité sont infiniment supérieures à celles fournies par le réseau et appliquées au circuit. La puissance apparente absorbée par l'appareil est dans tous les cas beaucoup plus élevée que la puissance réelle et on conçoit que quand cette puissance réelle, devient par l'artifice de la résonance elle même fort grande, la tension aux bornes des appareils puisse s'élever à des valeurs énormes afin de correspondre à la puissance apparente de chaque appareil dont le cosinus ϕ est considérable.

La résistance apparente d'une self et d'une capacité en *résonance série* est donc réduite au minimum (1). L'intensité qui la traverse est très élevée

1. Pour la fréquence considérée, bien entendu.



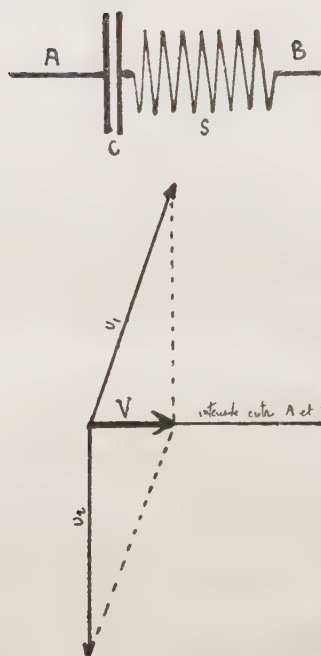
Résonance parallèle

Ici la tension entre A et B est la même et l'intensité qui circule est en concordance de phase avec la tension.

Mais l'intensité qui circule dans la bobine de self d'une part (circuit ASB) et au travers de la capacité (circuit ACB) sont considérables et très déphasées.

Il circule dans le circuit de résonance ASBC un courant énorme pour une énergie minime.

Les vecteurs permettent de calculer la valeur de tous ces facteurs sans difficulté.



et

Résonance série

Ici c'est l'intensité du courant traversant tout le circuit qui est la même.

Mais la tension aux bornes de la self d'une part, de la capacité d'autre part sont beaucoup plus élevées que la tension entre A et B et le déphasage est considérable.

Les vecteurs traduisent le phénomène en évidence au premier examen.

et la tension aux bornes de chacun des appareils peut atteindre des valeurs formidables, c'est ainsi que le calcul montre qu'une self en résonance série avec un condensateur de un microfarad qui est de 10 henrys, laisse passer, si la résistance du circuit ne dépasse pas 10 ohms, un courant d'une intensité de onze ampères et que la tension dans ces conditions atteint trois cent fois celle du secteur, soit $110 \times 300 = 33.000$ volts. Comme la tension instantanée s'obtient en multipliant par $\sqrt{2}$ la tension efficace, la pointe atteint 50.000 volts environ.

Résonance parallèle.

Dans la résonance parallèle, la compensation entre le self et la capacité produit des effets diamétralement opposés et l'intensité qui circule entre les pôles du générateur est réduite au minimum possible, la résistance apparente de l'ensemble étant considérable. Voici pourquoi :

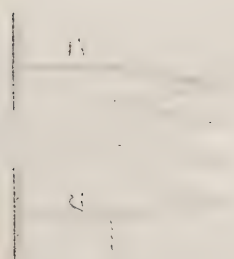
Alors que les résistances apparentes de la self et de la capacité se succèdent pour maintenir la résistance du circuit à une valeur invariable, l'ensemble de la self et de la capacité représente un circuit en série dans lequel le courant circule avec facilité puisque nous avons vu que la résistance d'un circuit monté en résonance série est minima.

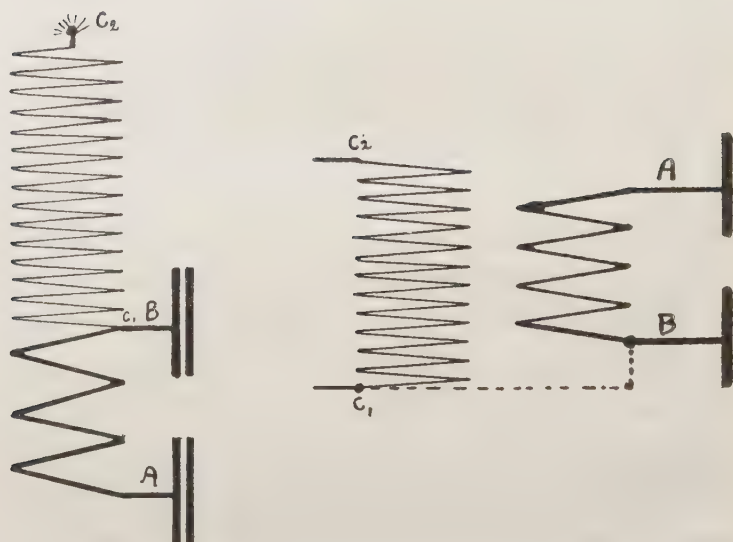
Il ne circule qu'un courant très faible entre les points A et B, mais ce courant en entretient un

énorme dans le circuit fermé monté en série A. S. C. B.

En résumé, un ensemble self capacité en résonance série laisse passer une intensité maxima pour tout courant alternatif dont la fréquence correspond à celle pour laquelle il a été calculé (ou un harmonique de cette fréquence) et l'intensité devient infime pour toute fréquence qui s'en écarte notablement. Un ensemble self capacité en résonance parallèle ne laisse au contraire passer qu'une intensité réduite par le courant dont la fréquence correspond à celle calculée pour la résonance de l'appareil, il laisse passer facilement tout courant dont la fréquence s'en écarte notablement. Le cas limite d'emploi le plus intéressant d'un circuit de résonance, est celui où l'on applique simultanément aux extrémités du circuit un courant alternatif dont la fréquence correspond à la résonance et un courant continu (que l'on peut considérer comme un courant de fréquence nulle). L'intensité du courant continu n'est alors limitée que par la résistance de l'ensemble en résonance parallèle. Elle est en général négligeable et le courant continu passe avec facilité. Par contre, le courant alternatif rencontre la résistance apparente formidable du circuit de résonance et il ne peut sensiblement pas passer ; on a donc effectué ainsi par un procédé simple et indéréglable le triage parfait des deux courants.

Cette disposition est constamment employée pour tous les montages de lampes à trois électrodes





Le couplage par transformateur et le résonateur de Houdin

La connexion BC transforme le montage en auto-trans-
formateur, et on voit alors que le montage est le même
que celui du résonateur de Dudin.

dans la T. S. F. et les appareils médicaux à ondes entretenues (1).

C'est encore au phénomène de résonance parallèle que l'on fait appel dans les appareils à éclateurs, pour récolter en toute sécurité le courant thérapeutique et empêcher totalement tout courant mortel de passer au travers du sujet en cas d'avarie quelconque de l'appareillage.

Si l'on veut bien se reporter à ce que nous venons de voir il est facile de comprendre que le résonateur n'est rien d'autre qu'un transformateur accordé, son rendement de ce fait est maxima, mais il ne peut *en aucun cas* augmenter la tension au-delà du rapport de transformation des enroulements (2).

Dans le résonateur de Oudin, par exemple, la prise variable se trouve au moment du maximum de rendement en un point tel, que la tension entre les points A et B soit maxima (la résistance apparente du circuit est alors considérable et l'on profite entièrement des pointes de tension oscillantes fournies par les condensateurs). D'autre part, le reste du circuit que l'on peut considérer comme un enroulement secondaire (le résonateur de Oudin est un auto-transformateur de haute fréquence) étant accordé sur la fréquence des oscil-

1. Un dispositif semblable a été utilisé par notre Maître, le Dr Delherm pour faire simultanément du courant continu et de la diathermie.

2. Mais l'établissement de la résonance élève déjà la tension aux bornes du primaire.

lations, n'amène aucun amortissement et les pointes de tension se trouvent multipliées par le rapport de transformation. On comprend qu'elles atteignent la grande valeur qu'on leur connaît.

On a pris l'habitude de désigner sous le nom de haute fréquence, les courants alternatifs présentant plus de 10.000 périodes par seconde ; cette dénomination sert donc surtout à opposer ces courants à ceux de fréquence industrielle appelés courants de basse fréquence qui restent en général cantonnés entre 10 et 100 périodes par seconde.

La ligne de démarcation entre les deux domaines est assez arbitraire et la physique actuelle est capable de produire sans difficultés des ondes entretenues de la fréquence désirée dans toute cette échelle. Il faut cependant remarquer que seule la T. S. F. a jusqu'ici employé, si nous osons nous exprimer ainsi, des hautes fréquences relativement lentes. Elle n'est cependant guère descendue au-dessous de 10 à 15 km. de longueur d'onde ce qui correspond respectivement à 30.000 et 20.000 périodes par seconde. Aucune difficulté apparente ne doit cependant s'opposer à descendre encore plus bas.

Nous avons insisté sur cette question parce que la médecine n'a employé jusqu'ici que des ondes relativement très courtes (de l'ordre de 250.000 périodes par seconde) et qu'elle cherche actuellement à expérimenter le domaine des ondes de plus en plus courtes. Nous verrons au chapitre physio-

logique tout l'intérêt qu'il y aurait selon nous à étudier au contraire les ondes de fréquence relativement basses (1).

Les appareils producteurs de haute fréquence destinés aux usages médicaux se divisent en deux grandes classes, les appareils à éclateurs et les appareils à lampes. Ces derniers récemment venus à la disposition des médecins, connaissent actuellement une très grande vogue due aux remarquables résultats chirurgicaux qu'ils fournissent et ils semblent pour ces usages pouvoir supplanter les premiers. A cause de cela peut-être on a tendance actuellement à opposer l'un à l'autre ces deux types de générateurs et c'est pourquoi en les étudiant rapidement nous ferons une comparaison perpétuelle entre eux.

Appareils à éclateurs.

Extrêmement répandus, parce que d'une construction très facile, leur montage de principe n'a pas varié depuis le début de leur apparition, c'est celui indiqué par le Professeur Darsonval et comme il est décrit dans presque tous les ouvrages d'électricité médical, nous pensons qu'il est inutile d'y insister longuement.

1. Cette étude que nous avons entreprise conduit à des résultats très intéressants qui ont fait l'objet de communications à la Société d'Electrologie.

Quand un condensateur est préalablement chargé à un potentiel suffisamment élevé pour vaincre la rigidité diélectrique de l'air au moyen d'une étincelle, il se décharge par cette étincelle qui est oscillante, pourvu que la self du circuit et sa résistance ne présentent pas une valeur trop considérable.

Si le condensateur après chacune de ses décharges, se trouve immédiatement rechargé par un générateur, on pourra disposer dans le circuit du condensateur d'un courant de haute fréquence dont la fréquence sera fonction de la self et de la capacité. L'appareil comprend donc un transformateur de tension (bobine ou transformateur à circuit magnétique fermé) un condensateur et une self et un éclateur. Deux schémas de montage sont possibles, le schéma initial de Hertz, sur les dangers duquel on a beaucoup insisté dans les milieux médicaux (peut-être même a-t-on exagéré un peu) le schéma désormais classique de Darsonval présentant une sécurité absolue et qui est infiniment préférable et doit être préconisé; il revient plus cher mais étant donné le prix auquel revient un appareil de diathermie, la différence de prix devient négligeable. Remarquons toutefois que le montage importe peu dès l'instant où le malade ne se trouve relié à l'appareil que par l'accouplement de deux selfs constituant un *transformateur de sortie*. Ce montage que l'on tend d'ailleurs de plus en plus à utiliser nous paraît devoir toujours être exigé. Il offre en effet, une facilité de réglage et une progressibilité telle et sans

acoups (par variation de couplage) que rien ne peut la surpasser.

L'étude de la décharge oscillante du condensateur montre que la durée de celle-ci est extrêmement courte ; elle est de l'ordre de $1/10.000$ de seconde et son amortissement total est accompli au bout de moins de 100 oscillations (ce qui fait une durée d'oscillation de l'ordre maxima de un millionième de seconde). Comme les appareils actuels fournissent suivant le réglage de l'éclateur de une à quatre étincelles par période, l'étincelle oscillante ne jaillit pour un courant à 50 périodes, que tous les $1/200$ de seconde (1) dans les cas les plus favorables souvent plus rarement (fig.) par l'emploi d'une bobine d'induction à la place du transformateur d'intensité on pourrait avoir des étincelles plus fréquentes mais le rendement déplorable en interdit l'emploi pour d'autres usages que ceux de tension.

Dans ces conditions, le silence entre deux décharges oscillantes successives apparaît comme étant de 250 à 1.000 fois plus important que la décharge. Quelle que soit la perfection de l'éclateur, on voit que l'amortissement de la décharge oscillante est énorme et que l'appareil ne travaille que pendant un temps dérisoire ; il faudra donc que les effets instantanés de la période de courant effectif soient très

1. Il est facile de se rendre compte du réglage d'un appareil à éclateur et du nombre d'étincelles par période en déplaçant rapidement devant le pôle d'un résonnateur branché sur l'appareil, une électrode à vide que l'on voit tracer dans l'espace des bandes claires et obscures (phénomènes stroboscopiques).

intenses pour arriver à ce que les résultats moyens soient appréciables. C'est une loi générale qui veut en effet que l'intensité d'un courant soit d'autant plus élevé lors de son maximum que la durée de ce dernier est plus brève. Nous avons signalé ainsi que le courant du secteur 110 volts atteint à certains moments 155 volts parce qu'à d'autres sa valeur est nulle. Le courant fourni par les réseaux de distribution étant un courant rigoureusement sinusoïdal a un rendement excellent puisqu'il est rigoureusement entretenu et que la période de silence est réduite au minimum possible. Il est logique de penser que le courant de haute fréquence des appareils à éclateurs présentent un silence mille fois plus grand. Les expériences de mesure que l'on a faites à ce sujet montrent qu'on a raison de penser qu'il en est ainsi et nous aurons l'occasion d'y revenir à propos des tracés comparatifs entre les appareils à éclateurs et les appareils à lampes obtenus avec l'oscillagraphe cathodique du professeur Dufour (1).

L'appareil de diathermie d'aujourd'hui ne diffère de l'appareil de haute fréquence d'autrefois que par des perfectionnements faits sur l'éclateur. Tous les nouveaux modèles ayant été créés ont cherché à raccourcir l'étincelle oscillante la diviser, éviter l'amorçage d'arc et étant donné l'intensité du cou-

1. Travaux de Gondet communiqués à la Société de Radiologie.

rant ainsi rompu à assurer un bon refroidissement. L'emploi du tungstène a permis l'obtention de toutes ces qualités (qui visent à diminuer l'amortissement et augmenter la puissance). Les derniers éclateurs fonctionnant à l'air libre et en milieu clos sont devenus d'une grande simplicité et d'un entretien facile.

La distance d'éclatement totale correspond à une tension de 3.000 volts environ pour les petits appareils et de 6 à 7.000 volts pour les modèles de très grande puissance. Dans un certain nombre d'appareils, elle est partiellement réglable par modification de la valeur de la self d'entrée. Cependant, il est rare que ces appareils aient un fonctionnement souple et régulier pour les différentes valeurs de la self d'entrée.

La longueur d'onde de ces appareils est assez difficile à déterminer et les constructeurs eux-mêmes deviennent assez vagues quand on les interroge à ce sujet. Tous les appareils à éclateurs fournissent en effet des ondes extrêmement riches en harmoniques (on appelle harmonique un multiple pair ou impair de la fréquence fondamentale). Ces harmoniques ont une intensité souvent égale à l'onde prétendue fondamentale et au milieu de tous ceux-ci, on ne sait plus qu'elle est la fréquence principale. On verra au chapitre des mesures, le principe de l'ondemètre d'émission qui nous a servi à effectuer quelques mesures et les résultats de celles-ci.

L'irrégularité qui persiste dans les éclateurs

modernes module dans une certaine mesure le courant de haute fréquence et produit la sensation faradique qui est intéressante à connaître au point de vue physiologique car elle modifie incontestablement les réactions du patient au courant et les résultats thérapeutiques

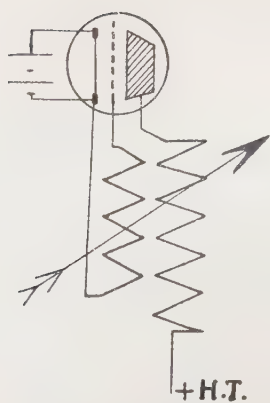
Notons simplement ici qu'un constructeur a pu par un artifice de construction simple provoquer une sensation faradique variable, et que son appareil obligamment prêté dans le service de la Pitié nous a permis une expérimentation clinique intéressante.

Appareils à lampes.

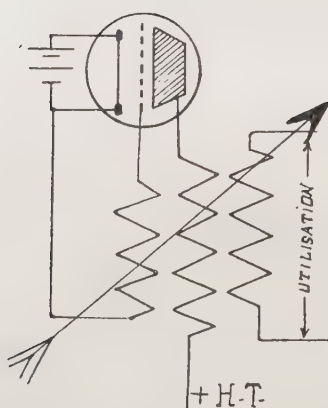
Ils fournissent l'onde entretenue d'une manière parfaite. L'appareil est totalement silencieux, il ne nécessite aucun entretien et n'a jamais besoin de réglage. Son rendement est bon et la sensation faradique totalement absente. Aussi ces qualités leur ont-elles valu un succès considérable.

C'est, nous l'avons dit l'appareil de choix des chirurgiens. L'âme de l'appareil est constituée par la lampe à trois électrodes. C'est une lampe du type d'émission d'une puissance assez importante. Le schéma de principe est très classique et est représenté par la figure.

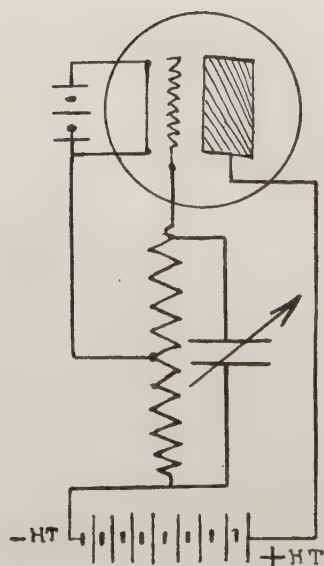
On y remarquera le couplage grille plaque à induction négative qui maintient les oscillations. La grande difficulté à vaincre avec ces appareils est le



Le Schéma théorique
de la lampe montée en
oscillatrice.



L'utilisation de l'énergie
produite.



Un montage d'oscillatrice
fréquemment employé le
" Hartley ".

maintien des oscillations constantes quelle que soit la charge d'utilisation dans le circuit du patient. La résistance de ce circuit est en effet éminemment variable suivant les différentes régions et les conditions opératoires. Or beaucoup d'appareils dont le fonctionnement à vide est admirable décrochent avec une facilité désespérante lorsque la résistance du circuit d'utilisation tombant à une assez faible valeur d'intensité débitée devient importante. Toutes ces difficultés, sont cependant à l'heure actuelle parfaitement vaincues et le circuit d'utilisation peut être mis en court-circuit franc sans que l'appareil décroche.

La tension appliquée à la plaque des appareils à lampes varie couramment entre 3 et 6.000 volts. Théoriquement cette tension devrait être continue, la plaque (pour que la lampe oscille) devant toujours être positive par rapport au filament.

Il est malheureusement difficile de réaliser une tension continue de cette valeur avec un appareil simple et un volume réduit. Aussi les constructeurs ont-ils résolument abandonné cette réalisation et ils alimentent la plaque directement par du courant alternatif à haute tension (provenant d'un transformateur élévateur) sans aucune précaution particulière. Dans ces conditions l'appareil, s'il fonctionne d'une manière satisfaisante ne fournit plus des ondes réellement entretenues et il est intéressant de préciser exactement le courant qu'il fournit, C'est un fait aisément compréhensible que l'ampli-

tude des oscillations de la lampe dépende de la tension qui est appliquée sur la plaque de celle-ci. C'est un fait d'expérience (que d'ailleurs la théorie laisse facilement prévoir) que toute oscillation de la lampe cesse pour une polarisation négative de la plaque. Les électrons émis par le filament étant alors repoussés. Dans ces conditions, la lampe ne se met à osciller que lorsque la plaque prend des valeurs positives par rapport au filament et pendant la demi-période où la plaque est négative, le générateur ne fonctionne pas. Le potentiel de la plaque suivant rigoureusement la sinusoïde du réseau d'alimentation, il y a une zone de silence égale à la zone de travail et cette dernière présentera une amplitude d'oscillations perpétuellement variable.

En définitive le courant fourni sera de la forme indiquée par la figure sur laquelle on remarquera que la régularité des périodes de fonctionnement ou de non fonctionnement sera absolue et s'opposera, par cela même à l'irrégularité de l'appareil à éclateurs.

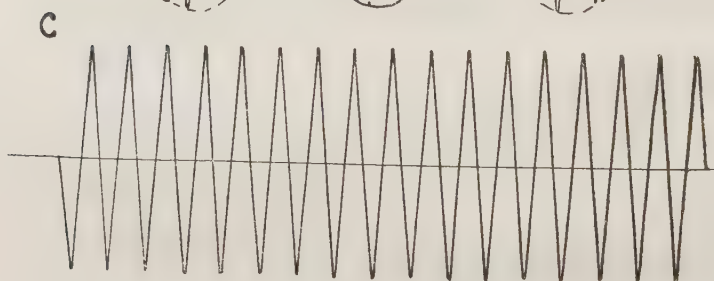
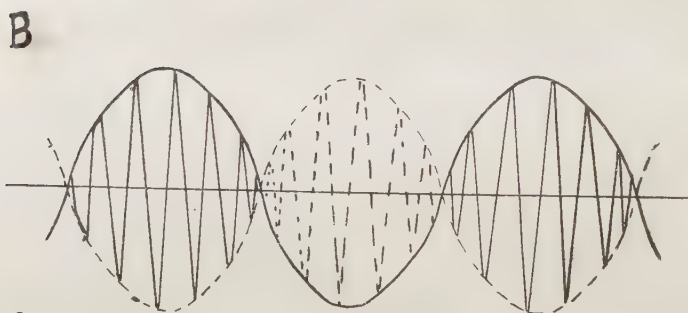
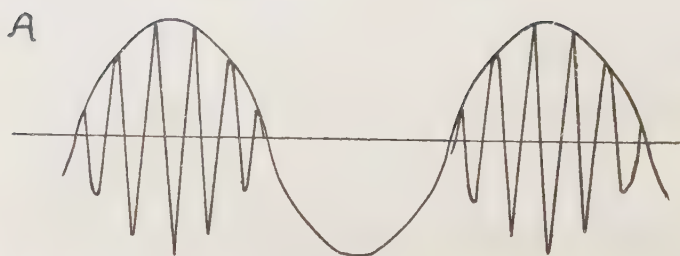
Avant de quitter cette étude, nous devons signaler un appareil (Chenaille) étudié il est vrai, surtout pour usage chirurgicale où on a tenté de supprimer la période de silence. Pour cela, on a eu recours à une seconde lampe. Le montage étant tel que la plaque d'une lampe soit positive alors que l'autre est négative. Les lampes travaillent donc alternativement et la période de silence se trouve supprimée.

1875

1876

1877

1878



A. — La Haute fréquence de l'appareil à lampe classique.

B. — La Haute fréquence de l'appareil à 2 lampes en opposition.

C. — L'Onde rigoureusement entretenue.

L'oscillation reste cependant d'amplitude périodiquement variable et le courant obtenu est une onde entretenue modulée selon la sinusoïde du courant d'alimentation (fig.).

La propagation des courants de haute fréquence.

Cette étude est d'une importance beaucoup plus grande qu'on ne pourrait le croire au premier abord ; elle permet de bien se rendre compte de la manière dont le courant peut agir au travers de l'organisme.

Nous retrouvons au début de cette étude le principe qui nous a guidé jusqu'ici de savoir que le courant de haute fréquence obéit aux lois générales de propagation du courant alternatif. Pour bien comprendre la propagation des courants alternatifs eux-mêmes, il est nécessaire de rappeler rapidement le mode de propagation des courants continus et de le comparer à celui-ci.

Que le courant soit continu ou alternatif, il faut distinguer deux modes de propagation fort différents.

a) Dans les conducteurs métalliques, et plus particulièrement, dans le fil de cuivre,

b) Dans les solutions salines et plus particulièrement dans la solution de chlorure de sodium.

A. — Dans les conducteurs.

Aussi homogène qu'il paraisse au premier abord, un morceau de métal est formé d'un certain nombre d'atomes ($8,4 \times 10^{22}$ pour le cuivre) dont les noyaux sont séparés par une distance extrêmement petite. Chacun de ces atomes est composé ainsi que nous l'avons vu dans les chapitres précédents d'un noyau central et de couches d'électrons périphériques (on attribue un électron libre au cuivre. Ces électrons sautent perpétuellement d'un atome à un autre plus ou moins éloigné suivant la température du métal (au 1.500^{e} environ à la température de l'air liquide). Ces sauts se font à la vitesse moyenne de 1.000 km. à la seconde et elle est invariable avec les conditions physiques du métal considéré (1). Lorsque le conducteur est le siège d'un courant, l'ensemble des électrons prend une vitesse orientée supplémentaire qui tend à les entraîner dans le même sens (alors que les sauts avaient lieu dans n'importe quelle direction). Le sens de ces sauts orientés est le sens inverse de celui-ci habituellement pris arbitrairement pour le courant. Cette vitesse supplémentaire des électrons dépend naturellement de la différence de potentiel dont les extrémités du conducteur est le siège, est toujours très faible en égard de la vitesse propre (elle est de l'ordre du mètre par seconde) soit $\frac{1}{1.000.000}$ de celle des sauts spontanés. La résistance offerte par

le conducteur au passage du courant dépend du nombre d'électrons de celui-ci et de la facilité offerte aux sauts orientés. Cette résistance entraîne l'élévation de température du conducteur par choc des électrons contre les atomes au cours de leurs cheminement. Cette résistance augmente avec la température parce que les atomes qui effectuent normalement des sauts sur place s'agitent de plus en plus et s'écartent au fur et à mesure que la température augmente. Les atomes eux-mêmes ne sont en effet pas immobiles, mais ils présentent des mouvements dont l'intensité est fonction de la température à tel point que c'est cette agitation même qui au point de vue de la physique moderne caractérise la température d'un métal. Aux températures très basses les mouvements deviennent insignifiants et les atomes sont rapprochés au maximum ; tout laisse croire qu'au 0 absolu (-273°), la conductibilité du cuivre deviendrait infinie. On ne peut que se rapprocher de cette température sans parvenir à l'atteindre. Cependant une spirale de plomb portée à la température de moins de 270° voit sa résistance s'abaisser à un tel point qu'un courant d'induction lancé dans la spirale circule indéfiniment la valeur du courant ne diminuant de moitié qu'au bout de cinq jours. On a dénommé ce phénomène supra-conductibilité. En alternatif, le courant changeant de sens un grand nombre de fois dans l'unité de temps, les électrons changeront évidemment le sens de leur vitesse supplémentaire

orientée et il ne pourra pas y avoir un déplacement continu comme dans le courant continu, les électrons parcourant dans une demi-phase un trajet inverse de celui parcouru dans la demi-phase précédente. Finalement, le courant alternatif fera effectuer aux électrons du conducteur des oscillations longitudinales sur place. On conçoit, sans qu'il y ait lieu d'y insister que la résistance du mouvement des électrons soit la même quelle que soit le sens de leur déplacement, et que le dégagement de chaleur ne dépende pas de la nature du courant. On vérifie ici avec la théorie d'électronique la valeur très générale de la loi de Joule.

B. — Les conducteurs électrolytiques

Le mécanisme de la circulation du courant dans les conducteurs électrolytiques est très différent. C'est le plus important à bien connaître puisque l'organisme se comporte vis-à-vis des courants de haute fréquence comme une éponge largement imbibée de solution de chlorure de sodium à 7 %.. C'est pourquoi nous prendrons comme solution d'étude la solution de chlorure de sodium. Les théories électroniques que la constitution de la matière que nous avons indiquées dans un chapitre précédent, nous montrent que la molécule de chlorure de sodium est formée par la réunion de deux ions monovalents qui diffèrent de l'atome : l'un, l'ion chlore, par fixation d'un électron supplémen-

taire, ce qui le rend négatif, et par conséquent attirable par le pôle positif, l'autre ion, sodium par la perte d'un électron, ce qui le rend positif et par conséquent attirable par le pôle négatif. Comme la perte d'un électron par un atome se trouve compensé exactement par le gain d'un électron de l'autre atome dans le chlorure de sodium, *il n'y a pas par conséquent d'électrons libres dans la solution du chlorure de sodium*. Ce ne peut donc pas être eux qui transportent le courant ou plus exactement lui servent de support. Pour la même raison on déduit que la solution est électriquement neutre (la différence de potentiel entre deux points tenant à une surabondance d'électricité d'un point sur l'autre où il y a disette. Rappelons ici le phénomène connu depuis longtemps, à savoir que dans une dissolution un certain nombre de molécules se trouvent séparés en leur constituant ioniques et sont donc porteurs de charges. En dehors de leur mouvement désordonné propre (fonction de la température) ces ions ne rencontrent nulle part d'électrons libres ou de disette d'électrons, aucune modification ne peut s'ensuivre. Il se produit un état d'équilibre stable dont les conditions de température et de pression à laquelle la dissolution a été faite. L'électrolyte se trouve en définitive, constitué de la manière suivante : des molécules de solvant en l'occurrence de l'eau. Des molécules du corps dissout et non modifié, (chlorure de sodium en l'occurrence), enfin des molécules dissociées donc des ions sodium :

porteurs d'une charge positive, et chlores porteurs d'une charge négative.

L'expérience a montré que l'ionisation était d'autant plus complète que les solutions étaient plus diluées et qu'elle diminuait avec la concentration de celles-ci. C'est ce phénomène qui explique la difficulté d'obtenir des solutions d'eau distillée suffisamment pure pour être parfaitement résistantes. La moindre trace de sels restant étant totalement ionisée et suffisante à produire une conduction notable. L'établissement des courbes d'ionisation en fonction de la concentration montre que dans les solutions moyennes, la concentration moléculaire croît beaucoup plus vite que l'ionisation ne décroît. On en déduit qu'en définitive, malgré cette décroissance, la résistance de la solution diminue d'une manière constante avec la concentration. Ceci posé, on peut se représenter d'une manière précise l'énorme différence qui caractérise les conducteurs électrolytiques par rapport aux conducteurs métalliques. Lorsque dans un électrolyte on plonge des électrodes, le courant passe mais l'on sait que la résistance offerte par la solution est toujours considérable. L'électrode positive (qui présente un manque d'électrons) va attirer les ions chlore qui en ont trop, les ions sodiums qui manquent d'électrons vont se précipiter vers l'électrode négative où il y a abondance d'électrons provenant du générateur. Au contact des deux pôles, les ions redeviendront atomes de chlore et de sodium. C'est ce voyage des

ions qui va transporter les charges et formera le passage du courant au travers de la solution saline. La vitesse de propagation des ions est pour un champ d'un volt centimètre et pour une solution de chlorure de sodium à 12 % de l'ordre 0,5/1.000 de millimètres environ par seconde. On voit tout de suite la raison électrolytique pour laquelle les conducteurs électrolytiques présentent une résistance considérable, en dépit du nombre astronomique des molécules présentes dans la solution (la solution à 10 % de chlorure de sodium présente 63 % de molécules ionisées soit $4,8 \times 10^{20}$ ions de chaque sorte, le nombre des molécules étant au total de $8,5 \times 10^{22}$).

Tout ceci est valable dans le courant continu. En courant alternatif, le raisonnement électronique est toujours valable mais le courant changeant constamment de sens, il ne se produit aucune modification au niveau des électrodes car chaque demi-période d'un sens détruit ce qu'avait fait la demi-période précédente qui était de sens inverse.

Pour le reste, les ions de la solution oscillent sur place comme les électrons libres du métal, mais ici le trajet d'oscillation est infiniment plus faible (1/100.000). Pour un champ de un volt par centimètre en une seconde, le trajet serait de l'ordre de un millionième de millimètre. La résistance des solutions électrolytiques est au total environ huit millions de fois plus grande que pour les conducteurs métalliques, cette résistance due à la difficulté des

ions à se mouvoir s'explique aussi par ce fait simple que les ions sont très gros, relativement à l'électron tout au moins.

Lorsque la température s'élève la vitesse de déplacement des électrons augmente rapidement (les atomes constituant le milieu s'écartant les uns des autres) (explication de la dilatation) et la résistance de la solution diminue. C'est ainsi par exemple qu'une solution de chlorure de sodium de dix pour mille qui présente à la température ordinaire une résistance de 14 ohms cm. voit celle-ci tomber à 5 ohms cm. lorsque la température atteint 100°. Pour tenir compte de tous les facteurs pouvant influencer sur cette résistivité, il faut dire que celle-ci varie aussi dans de faibles proportions avec la concentration saline. Quoi qu'il en soit, il faut retenir de cette étude.

1° La haute résistance des solutions salines.

2° L'influence de leur concentration sur les variations de la résistance.

3° Et surtout la diminution rapide de cette résistance avec l'élévation de la température phénomène inverse de celui se produisant avec tous les conducteurs métalliques,

Les considérations que précèdent nous amènent à parler ici du résultat de quelques expériences *in vitro* dont les résultats sont en relation avec la propagation du courant de haute fréquence.

La première et l'une des plus ancienne est la coagulation d'albumine effectuée dans un cristalli-

soir expérience indiquée par Bordet dans son livre sur la diathermie (1). Une solution d'albumine est placée dans un cristalliseur et deux électrodes plongent de part et d'autre pour amener le courant. La coagulation de la solution par la chaleur dégagée présente un aspect différent suivant la manière dont est établi le courant.

1° Le courant est établi immédiatement à la valeur maxima nécessaire pour produire la coagulation ; dans ce cas il se forme deux gaines de coagulat autour des électrodes. La partie centrale comprise entre celle-ci reste liquide pendant très longtemps et ne se coagule que très tardivement.

2° Le courant est établi progressivement et lentement, la coagulation s'est effectuée dans toute la masse inter-polaire. Le fait est indéniable et aisément vérifiable, mais il faut éviter d'en tirer des conclusions trop hatives.

Il ne faut déduire celles-ci que de l'étude critique de l'expérience, en tenant compte de toutes les modifications pouvant être imposées aux phénomènes par les conditions dans lesquelles elle a été effectuée.

Une première remarque s'impose : le récipient dans lequel est faite la coagulation est un cristalliseur cylindrique. La largeur de la solution est de ce fait plus large dans la partie médiane, elle offre une surface de refroidissement plus grande. De plus, la solution d'albumine est mauvaise conductrice du courant et les variations de section de la masse

ne peuvent alors être négligées. Enfin, la solution est très mauvaise conductrice de la chaleur, ce qui une impossibilité presque absolue à ce que s'établissent des échanges de température.

Si l'on répète l'expérience dans un vase long et étroit avec des électrodes plates et assez larges pour occuper la moitié de la largeur du récipient dans une solution rendue plus conductrice par dissolution de chlorure de sodium, les phénomènes deviennent beaucoup moins nets et il arrive parfois que la coagulation en masse se produise quand on a préalablement réglé l'intensité à une valeur suffisante mais peu supérieure à celle nécessaire pour obtenir la coagulation.

De ces expériences nous pensons qu'il faut déduire les conclusions suivantes :

1^o Les effets calorifiques de la diathermie dépendent indissolublement de la densité électrique du courant et des conditions d'équilibre thermique.

2^o Pour pouvoir prévoir dans une mesure suffisante les résultats que vont fournir une application, il faut tenir compte de la conductibilité du milieu, des conditions de refroidissement (circulation, isolement etc...) et des modifications susceptibles d'amener l'élévation de température à celui-ci

On déduit de tout ce qui précède qu'il n'y a pas à proprement parler d'opposition entre les expériences *in vivo* et *in vitro* à la condition de tenir compte des différences physiques entre les deux. On est alors en droit de vouloir prévoir ce qui se produira

au cours d'une application chez l'homme si l'on connaît les résultats d'une expérience de laboratoire et les différences physiques essentielles qu'elle présente avec l'emploi clinique,

C'est ainsi que tout s'accorde pour tirer de l'expérience précédente la conclusion que les applications chirurgicales demandent l'établissement aussi rapide que le permettent les circonstances de l'intensité à la valeur nécessaire (prise pédale) alors que l'emploi médical de la haute fréquence exige l'établissement progressif de l'intensité sous peine de provoquer parfois des accidents graves.

Nous avons débuté dans l'étude des expériences de laboratoire par celle de Bordier sur la coagulation des albumines à cause de l'importance que l'on a attaché à la Société Française d'Electrologie à une communication du Dr Léon Parisot de Montréal (1) celui-ci frappé de ce que l'expérience précédente avait d'imprécis repris la question de la répartition de l'échauffement sous l'action du courant par un procédé d'une valeur scientifique incontestable car il se met le plus près possible des conditions cliniques.

Il a fait appel au virage coloré présenté par le tétra-iodo-mercure d'argent qui de jaune serin vire au rouge orangé par l'élévation de température.

1. Dr Léo Parisot, *Recherches sur la répartition de l'échauffement produit en profondeur par les courants de haute fréquence* (Bulletin de la Société Française d'Electrothérapie, novembre 1929, p. 56).

On obtient ainsi des spectres de la répartition de chaleur suivant les conditions de passage du courant. L'auteur a étudié notamment l'influence de corps conducteurs ou isolants placés entre les électrodes ou au voisinage de celle-ci.

Deux points nous semblent à retenir de ces expériences :

1^o Les régions de maximum de chaleur dégagée répondent logiquement à ceux que l'on déduiraient en tenant compte comme nous le signalions précédemment des conditions expérimentales ;

2^o Les spectres obtenus rappellent étrangement les images obtenues dans l'étude des champs magnétiques et les modifications produites par l'interposition de corps conducteurs ou isolants sont les mêmes que celles produites par l'interposition dans un champ magnétique de corps à grande ou très faible perméabilité.

En réfléchissant un peu, cette analogie ne doit pas surprendre car l'électricité dans ses diverses manifestations, n'étant que la traduction des forces agissant sur les électrons suivant le mode de leur déplacement les lois qui régissent ces forces sont immuables que la manifestation soit courant ou champ magnétique.

Quoi qu'il en soit, l'intérêt de ce qui précède réside dans ce fait que l'on est en droit de se servir des multiples études faites par l'industrie et les laboratoires sur les champs magnétiques pour tenter de

prévoir la répartition de la chaleur dans les applications diathermiques.

* * *

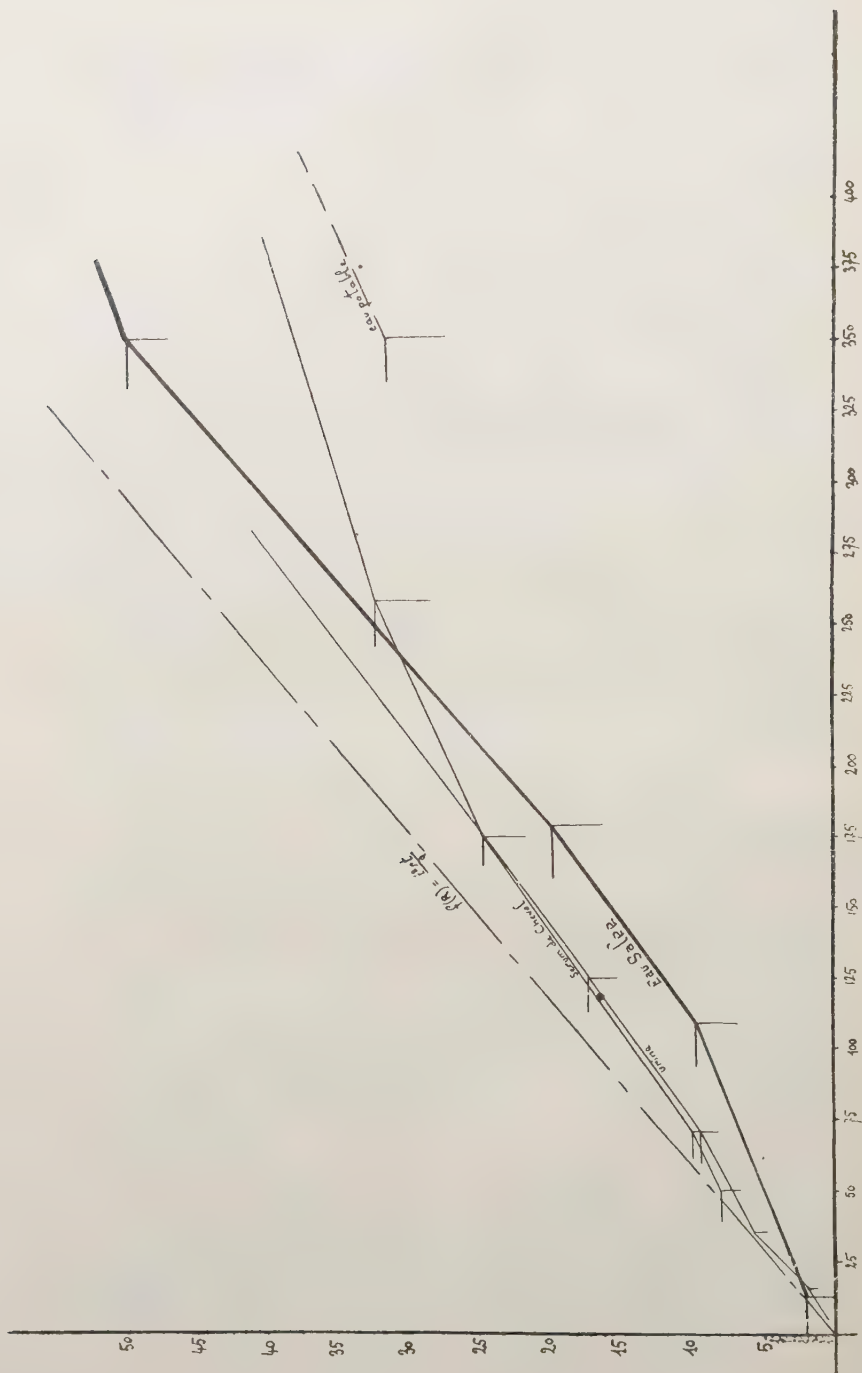
Une autre expérience présente une importance très grande non seulement parce qu'elle est due au Professeur d'Arsonval mais parce qu'aussi elle a pour la première fois attiré l'attention des spécialistes sur l'importance considérable que présentaient les phénomènes dus à la self induction et à la capacité du circuit d'utilisation (1). En étudiant la quantité de chaleur dégagée au travers de solutions salines de composition voisine au sérum sanguin le Professeur D'Arsonval constata que lorsque la résistance variait (par variation de la concentration saline) toutes autres choses restant égales par ailleurs, la quantité de chaleur n'obéissait pas à la loi de Joule.

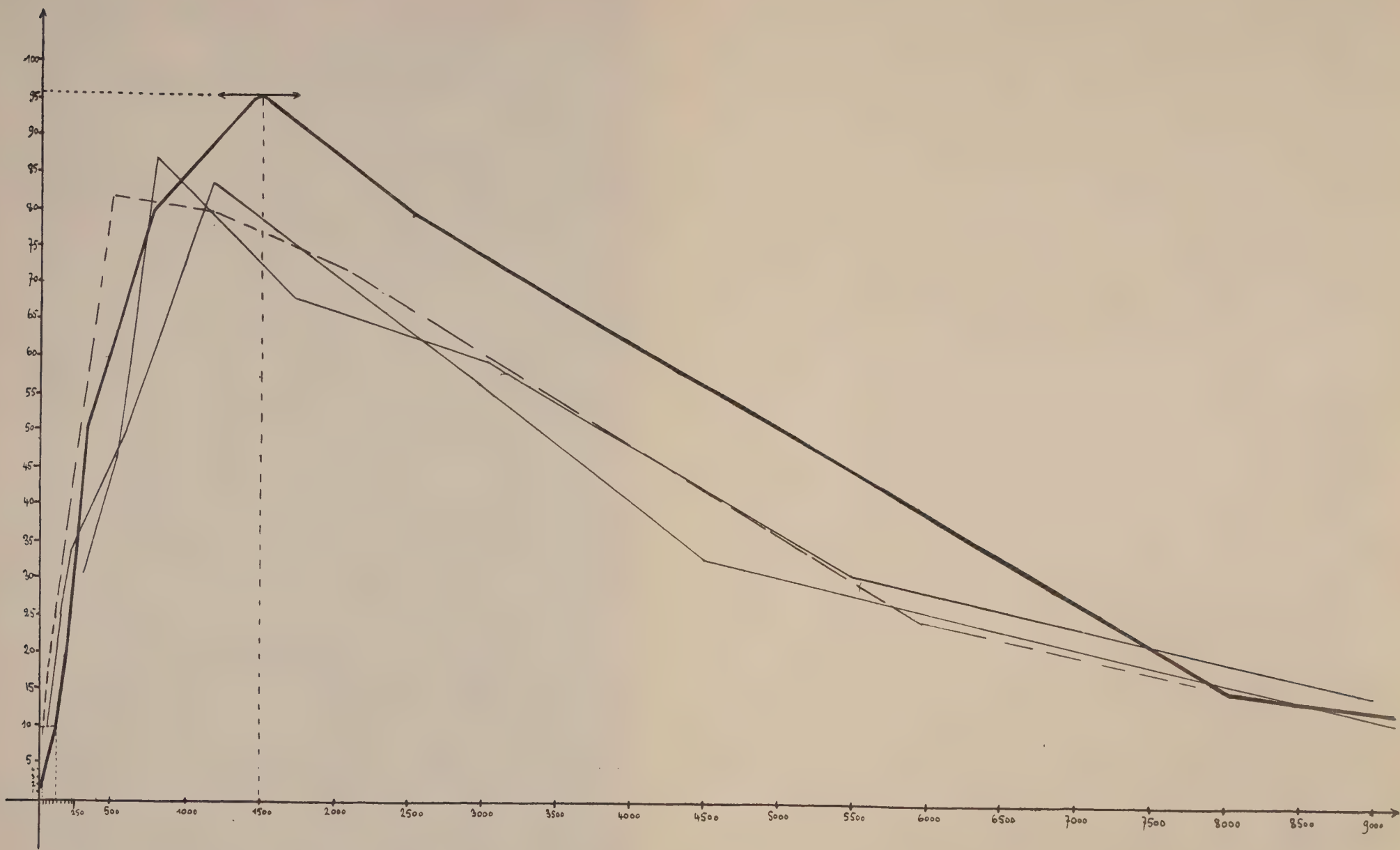
Après une croissance primitivement presque parallèle mais inférieure à celle donnée par la formule de Joule, la quantité de chaleur dégagée passe par un maximum puis cesse de croître pour décroître lentement par rapport à la vitesse d'accroissement. Dans l'ensemble la courbe de cette variation affecte la forme d'une anse de broc tenu horizontalement (voir fig.).

Il faut remarquer sur les graphiques que c'est

1. D'Arsonval, *L'échauffement des tissus par les courants de haute fréquence* (Comptes rendus Académie des Sciences, 1927, t. 185, p. 684).









pour des résistances de l'ordre de grandeur du corps humain que le maximum de chaleur se trouve dégagé. Ces résistances sont évaluées en courant continu : en courant alternatif elles sont certainement moins élevées.

L'explication de ce phénomène, déjà donnée par M. Fabry (1) fut fort bien exposée par le Pr. Strohl (2) dans une communication faite à la Société Française d'Electrologie. Il montra que par l'emploi correct des formules qui sont couramment employées dans l'industrie pour calculer l'intensité en fonction de la self et de la capacité du circuit, on trouvait que la chaleur dépendait bien de la loi de Joule à la condition de tenir compte des effets que nous avons signalé à propos de l'influence des selfs et capacités.

Peu de temps après, Gondet publia des enregistrements à l'oscillographe de Dufour qui étant effectués avec un patient dans le circuit, rendaient le phénomène clinique et indiscutable. On sait ainsi maintenant, sans doute possible, que le décalage entre la tension et l'intensité est considérable pour des électrodes sèches, au début de l'examen ; mais que très rapidement la transpiration excitée par le courant rend la peau jouant le rôle de diélectrique moite, pratiquement conductrice et que le décalage

1. Ch. Fabry, *Sur le calcul de la chaleur dégagée par les courants de haute fréquence* (Comptes rendus Académie des Sciences, 185, p. 684).

2. Strohl, *Sur la conductibilité des tissus en haute fréquence et l'échauffement diathermique* (Bulletin de la Société Française d'Electrothérapie, février 1929, p. 56).

devient de plus en plus faible pour être dans certains cas, pratiquement nul.

De l'ensemble de ce que nous venons d'exposer il ressort que :

1° La quantité de chaleur dégagée ne varie pas proportionnellement ni à la résistance, ni à l'intensité tels que l'on avait coutume de les évaluer primitivement ;

2° Quelle que soit la résistance la quantité de chaleur est toujours inférieure à la quantité théorique évaluée en fonction de $I^2 rt$;

3° La chaleur dégagée ne croît pas constamment mais le sens de sa variation s'inverse.

Au point de vue clinique ces considérations ont leur importance elles permettent de tirer parti des indications fournies par les appareils de mesure.

C'est ainsi que l'on constate que l'intensité doit être établie progressivement pour permettre à la sudation de se produire et de diminuer le déphasage du courant. C'est d'ailleurs un fait clinique que ce sont les malades qui transpirent le plus qui tirent le plus de profit d'une application.

De même on remarquera que puisque c'est la peau qui joue le rôle de diélectrique c'est elle, qui en haute fréquence, présente le maximum de résistance. C'est donc elle qui pour une densité déterminée fournira le maximum de chaleur. Elle sera donc la cause des phénomènes d'intolérance, lesquels acquerront une importance primordiale si le patient ne sue pas ou si la résistance de la peau n'est pas modifiée

par imbibition avec une solution très conductrice.

C'est pour cette raison que nous avons préconisé d'humecter les plaques d'application avec une solution à 50 % de chlorure de calcium qui présente le grand avantage tout en étant très conductrice de ne jamais sécher.

Nous terminerons ce chapitre en signalant une mesure pratique à la résistance du corps humain pour les courants de haute fréquence. Le procédé que nous avons utilisé n'a pas la prétention d'être d'une grande précision mais d'une utilisation facile.

Le courant qui traversait le patient est appliqué à une résistance fantôme préalablement étalonnée en courant continu et dépourvue de self (1) on règle la valeur de celle-ci pour amener l'intensité à la même valeur qu'au travers du patient. La résistance peut alors être considérée comme égale à celle du corps humain.

Les mesures ainsi effectuées nous ont parues éminemment variables suivant les régions considérées. Elles varient le plus souvent entre 20 et 280 ohms.

Nous croyons savoir que les résistances de cet ordre de grandeur ont été trouvées par d'autres auteurs et par d'autres procédés.

1. Résistance en charbon rectiligne.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE ET CLINIQUE

Mode d'action physiologique.

Deux grandes propriétés frappent dans l'action de la diathermie.

La première qui constitue le fait le plus saisissant celui qui a le plus étonné dans l'étude des courants de haute fréquence à leur apparition fut incontestablement que, loin de tuer, ces courants n'exerçaient aucune action, ni sensitive, ni motrice des autres courants et que des intensités énormes pouvaient traverser l'organisme sous des tensions très élevées aussi, sans qu'on notât autre chose qu'une élévation de température. Cette élévation de température constituait le second point remarquable et l'échauffement des tissus qui se trouvaient transformés ainsi en un véritable radiateur électrique fut à l'origine du nom de la diathermie donné par Nagelschmidt.

Ces deux actions sont maintenant si connues

qu'elles paraissent toutes naturelles cependant les explications qu'on en donne sont souvent fort différentes et on a semblé souvent vouloir expliquer ses propriétés par le fait que les courants de haute fréquence obéiraient à des lois qui leur seraient particulières. Nous avons déjà dit et insisté sur le fait qu'il n'en est rien. Deux grandes explications ont été admises par de nombreux auteurs quelquefois même simultanément.

1^o Le courant de haute fréquence serait insensible parce que la rapidité de ses alternances permettrait à une demi-période de détruire l'action de la précédente avant que celle-ci ait eu le temps de se manifester. C'est la théorie en faveur de l'action par unique ébranlement cellulaire.

2^o Le système neuro-végétatif ne serait pas adapté à la fréquence rapide et serait incapable d'y répondre quelque soit le sens du courant. C'est l'hypothèse qui a été donnée à la découverte des propriétés de ces courants que nous ferons nôtre en niant toute valeur à la première.

Celle-ci suppose que le courant alternatif n'aurait pas plus d'action physiologique que d'action électrolytique. Il faut cependant remarquer que l'électrolyse se produit instantanément à chaque demi-phase aussi rapide que soit la fréquence et ce n'est pas une raison parce que la quantité électrolysée est infime et par conséquent invisible pour qu'elle n'existe pas. Si donc, l'action physiologique devait se produire elle aurait le temps de se manifester

d'autant plus que l'excitation d'un nerf ou d'un muscle se produit quel que soit le pôle qui transmet l'excitation à ce nerf. L'énergie minima exigée pour obtenir le seuil étant seul différent. Pour une intensité suffisante du courant diathermique, on devrait donc avoir une excitation avec phénomène sensitif.

D'ailleurs c'est en étudiant la réaction des muscles aux excitations de plus en plus rapides que le Professeur D'Arsonval en vint à découvrir les propriétés du courant de haute fréquence. Il avait pour le début de cette étude fait appel à des commutateurs mécaniques dont la variation de vitesse lui avait permis d'explorer facilement la gamme comprise entre 1 et 10.000 vibrations par seconde. Le courant utilisé alors était pour plus de simplicité, un courant continu interrompu dont la valeur initialement réglée restait invariable pendant qu'on explorait l'influence des variations de fréquence. Dans ces conditions l'intensité de l'excitation par le courant, augmente rapidement avec la fréquence pour passer par un maximum lorsqu'on atteint 2000 interruptions par seconde environ. Au delà de ce nombre, la réponse physiologique décroît assez rapidement et aux environs de 10.000 interruptions par seconde l'action devenait presque nulle. Comme les appareils ne permettaient pas d'obtenir des interruptions plus rapides, c'est pour vérifier ce qui se passait au delà, que le Professeur D'Arsonval avait eu l'idée d'employer des dispositifs que venait d'indiquer Hertz

comme produisant les oscillations de haute fréquence.

L'explication de ce phénomène est fourni d'ailleurs par la comparaison avec nos différents sens. On constate en effet que pour chacun d'eux la rapidité du mouvement vibratoire auxquels ils sont sensibles, sont compris entre les limites très étroites en dehors desquels ils ne sont pas capables de décélérer quoi que ce soit. C'est ainsi que le nerf optique ne commence à percevoir que les vibrations ayant au moins 497.000.000.000.000 (billions) par seconde (rouge sombre) et qu'il cesse de les voir dès qu'elles atteignent à peine le double soit 728 billions par seconde (violet).

Le nerf auditif dont d'ailleurs la sensibilité varie avec l'âge du sujet, se trouve limité entre 30 et 60.000 vibrations par seconde (il est d'ailleurs rare qu'une oreille moyenne couvre toute cette gamme).

De même la réceptivité à l'excitation du nerf et des muscles se trouve compris entre des limites très étroites hors desquelles ils sont incapables de réagir. Une expérience est à cet égard tout à fait démonstrative mettant en vue les limites étroites entre lesquelles nos sens cantonnent la perception du monde extérieur est la suivante :

On sait qu'au moyen des quartz vibrants on a pu émettre au sein d'une masse liquide des ondes vibratoires rapides qui recueillies par des appareils analogues à ceux servant à l'émission, constituaient un moyen de transmission par ondes sous-marines. Ce

dispositif émet en général des vibrations beaucoup trop rapides pour que notre oreille puisse les percevoir mais si au voisinage de semblables émetteurs on plonge le bras dans l'eau, il arrive que pour certaines fréquences, le sujet ressent une douleur aiguë intolérable. Cette sensation est évidemment due à l'excitation des terminaisons sensibles par l'intermédiaire d'un ébranlement de la masse musculaire ou passe les terminaisons, ébranlement dont la rapidité correspond justement à leurs zones excitables.

Une grosse objection à cette théorie serait fournie si le courant de haute fréquence à sens unique (ou redressé) produisait les effets différents du courant de haute fréquence alternatif, Or c'est ce qui a été affirmé à la suite d'expérience effectuées par le Professeur Cluzet de Lyon, en présentant au Congrès de 1922 le dispositif expérimental qu'il avait employé. C'est pourquoi il est nécessaire d'insister un peu sur ces expériences qu'à notre grande surprise nous avons vu admettre sans protestations.

La conclusion à laquelle arrivait le Professeur Cluzet, était que le courant de haute fréquence redressé provoquait des contractions musculaires pour des intensités très faibles tout comme un courant galvanique, mais qu'il présentait sur ce dernier l'avantage de ne pas provoquer de polarisation musculaire. Il en proposait donc l'emploi dans l'électrodiagnostic.

Notre attention primitive avait été de vérifier le dispositif expérimental du Professeur Cluzet, puis d'ajouter au dispositif qu'il avait employé, un dispositif de sortie capable d'éliminer tout courant qui ne serait pas rigoureusement de haute fréquence. On sait en effet que tout courant alternatif redressé peut au travers de circuits présentant des sels et des capacités suffisantes se « filtrer » et fournir à la sortie un courant soit continu, soit plus ou moins ondulé (faradisation) qui est capable de fausser totalement les résultats obtenus.

Pour des raisons d'appareillage, nous avons renoncé à cette expérimentation, mais la connaissance des caractéristiques particulières des dispositifs employés qui nous fut obligamment communiquée par la Maison Gaiffe, nous a permis d'être convaincu que nous avions vu juste en supposant que l'expérimentation du Professeur Cluzet avait été faussée par manque de précaution et que lors de ses essais il n'avait qu'à laisser passer le « faradique » avec du continu.

Nous devons signaler d'ailleurs que ces temps derniers le Professeur Cluzet a repris ses expériences par des procédés mieux adaptés et que les résultats qu'il a obtenu semblent bien en contradiction plus ou moins marquée avec ceux qu'il avait annoncé primitivement. C'est ainsi que les intensités tolérables sont considérablement plus élevées dans ses dernières expériences et fort éloignées de celles faradiques. Les renseignements à ce sujet sont

d'ailleurs assez vagues dans sa communication. (Société de biologie n° 8 mars 1931).

Les résultats de ces dernières expériences sont beaucoup plus en correspondance avec celui des nôtres. Cependant nous n'avons pas vu préciser certains points qui nous ont frappés et sur lesquels nous attirons l'attention.

Il nous a semblé que pour une *fréquence suffisamment rapide* (deux millions par seconde environ) et des ondes parfaitement entretenues les phénomènes d'intolérance que nous avons rencontrés étaient *uniquement d'ordre sensitif* et, étant donné la polarité constante du courant nous les avons attribués à des phénomènes électrolytiques intenses. La sensation est d'ailleurs très semblable à celle du courant continu.

De plus on remarque au niveau des électrodes des réactions de causticité dues vraisemblablement à l'électrolyse.

Des expériences complémentaires seraient nécessaires pour trancher définitivement cette question.

Nous avons dans ces conditions préféré étudier l'apparition des phénomènes sensitivo-moteurs qui ne pouvait manquer de se produire à un certain moment puisque l'on passait progressivement d'un courant sans action de cet ordre à un courant en ayant une, par abaissement de fréquence.

Il s'agissait là d'une expérience cruciale destinée à bien préciser l'origine des propriétés particulières des courants de haute fréquence.

Bien que difficile à réaliser cette expérimentation nous a montré que les phénomènes sensitivo-moteurs faisaient leur apparition pour une fréquence constance dépendant pour un muscle ou un nerf considéré de l'intensité utilisée. Mais, point important, confirmant nos hypothèses précédentes il y a une fréquence au-dessus de laquelle on ne peut plus obtenir de phénomènes sensitivo-moteurs quelle que soit l'intensité utilisée.

Les résultats nous ont encore montré qu'il y avait un rapport certain entre les chiffres limites de fréquence (évalués en temps de période) et les valeurs de la chronaxie du muscle ou du nerf considéré.

Tous ces résultats nous ont conduit à poursuivre nos recherches en un travail spécial il nous suffira ici de rappeler que l'inaction des courants de haute fréquence est bien dépendante de la fréquence et d'elle seule (4).

Lorsqu'on consulte les études qui ont été faites depuis que le professeur D'Arsonval a répandu l'usage thérapeutique des courants de haute fréquence, on constate qu'on admet sans discussion et comme un fait d'acquisition que le courant de haute fréquence a une action vaso-dilatatrice par action directe des terminaisons nerveuses com-

1. Amiot, Bize et Coudert, *Contribution à l'étude d'une nouvelle méthode d'électrologie par l'emploi des courants alternatifs à fréquences variables*. Société Française d'Electro-radiologie, mars 1931.

mandant la motricité des vaisseaux (Cf. Dausset).

Or, si l'on veut bien réfléchir que le courant de haute fréquence crée instantanément dans l'organisme qu'il traverse, une quantité de chaleur considérable, on est en train de se demander si la vasodilatation — phénomène indiscutable — est primitive au passage du courant ou n'est pas simplement la réaction banale de l'organisme pour lutter contre une hyperthermie qui menace la vie normale des cellules intéressées.

La réponse à la question a son importance car si la vaso-dilatation est causée uniquement par la chaleur, n'importe quelle source de chaleur pénétrante et en particulier les rayons infra-rouges conduirait au même résultat thérapeutique, alors que dans le second cas, l'action étant due au courant lui-même celui-ci serait irremplaçable. Le fait a été cliniquement indiqué par des médecins qui ayant obtenu avec un appareillage simple de thermo-pénétration des résultats forts encourageants (notamment dans les adhérences, les accidents annexiels), semblent vouloir préférer cette thérapeutique simple à celle plus compliquée de la diathermie.

L'expérimentation, dans ce cas, est très difficile car, pour bien faire, il faudrait pouvoir dissocier le passage du courant de son action calorifique. Bien entendu aussi souhaitable que cela soit, c'est totalement impossible. Absorber la chaleur au fur et à mesure de sa production pour maintenir l'organe à la température constante n'est qu'un pis aller ris-

quant de fausser les expériences car on ne peut jamais que refroidir des surfaces alors que la chaleur naît dans l'intimité même des tissus. On se trouve donc obligés de multiplier les expériences et un faisceau de résultats concordants doit seul permettre de conclure. La plus simple des expériences consista à faire passer le courant pendant un temps suffisamment court pour que la quantité de chaleur dégagée soit suffisamment faible et négligeable dans ses effets secondaires. Il est possible de le faire avec des appareils à lampe (les appareils à éclateurs ne permettent pas l'établissement brutal sans secousse du courant) (1).

On constate alors que la vaso-dilatation qui devrait être instantanée à la fermeture du courant, si elle était primitive et due à celui-ci et cesser avec lui n'apparaît pas ou n'apparaît que secondairement quand on prolonge l'expérience quelques instants (expérience de D'Arsonval sur l'oreille d'un lapin).

Il faut penser qu'il y a de fortes chances pour que la vaso-dilatation ne soit qu'un phénomène secondaire, réflexe, de l'organisme pour lutter contre l'hyperthermie. Cette opinion nous semble confirmée par toutes les constatations faites au cours des

1. Les expériences sur les fréquences limites que nous avons signalé précédemment expliquent bien ce résultat : Les appareils à éclateurs fournissent de nombreux harmoniques parmi lesquels se trouvent des longueurs d'onde supérieures à 1500 m., capables pour de fortes intensités de donner des phénomènes sensitivo-moteurs.

applications cliniques : nécessité d'établir lentement l'élévation de température sous peine de voir l'intolérance thermique apparaître brusquement ; endurance progressive au fur et à mesure de l'apparition des réactions de lutte contre l'hyperthermie.

Au chapitre du parallèle entre les appareils à lampe et à éclateurs nous indiquerons les raisons électrophysiologiques découlant des expériences que nous avons faites, qui nous font penser qu'il existe plutôt une action vaso-constrictive avec les appareils à éclateur (explication de l'intolérance aux intensités élevées).

Par contre l'action analgésique nous a paru primitive et due au courant lui-même. Mais encore ici il convient de considérer séparément les appareils à lampes et à éclateurs dont l'action est plus marquée tout au moins chez les sujets normaux. Pour nous, ainsi que nous le disons dans l'étude parallèle des deux types d'appareils, l'action dans les appareils à lampes est surtout due à l'action calorifique calmante en elle-même alors que cette action est renforcée dans les appareils à éclateurs par l'action vaso-constrictive. Mais ici encore la dissociation de ce qui revient à chacun est pratiquement impossible.

Expérimentalement, il est facile de constater la diminution d'excitabilité des nerfs soumis à la diathermie et cela même avec des intensités relativement basses en égard à celle que pourrait tolérer la région expérimentée. D'autre part, chaque jour dans l'expérience clinique on note l'action remarquable-

ment sédatif de la diathermie qu'aucun autre agent thérapeutique ne semble posséder à un tel point. Pour nous c'est dans les cas de coliques spasmodiques, le plus souvent d'origine gazeuse que la diathermie nous a paru souveraine et nous nous permettrons de citer un cas d'une personne qui, étant de notre famille, a pu être suivie de près par nous et qui démontre la puissance d'action thérapeutique de la diathermie dans ce cas (observ. I, Mme R. B...). Il s'agissait d'une femme présentant des troubles syncopaux d'origine gastro-hépatique cédant instantanément aux applications de diathermie.

Nous avons souvent pensé en entendant les malades se plaindre de douleurs et de troubles que leur causaient les gaz qu'ils avaient tant de mal à rendre après les interventions chirurgicales, aux services que les chirurgiens pourraient tirer pour l'amélioration des suites opératoires d'une thérapeutique physiothérapique, somme toute très simple et certainement inoffensive même au lendemain d'une intervention.

Cette action anti-spasmodique nous semble l'action la plus intéressante et celle en quelque sorte qui doit décider de l'application de la diathermie.

Quand on la recherche systématiquement on la trouve presque toujours : elle se combine d'ailleurs ainsi que nous l'avons dit, admirablement à l'action calorifique.

C'est d'ailleurs l'avis exprimé par le Dr A. Ne-

mours qui a une pratique incontestée de la diathermie et qui trouve que son action est due :

1^o A l'action du courant en tant que sédatif ;

2^o A l'action calmante de la chaleur (1).

Avant de clore cette étude il est intéressant de se demander quel est le mécanisme de cette action analgésique et antispasmodique du courant.

Si l'on suppose que la contraction musculaire est en rapport avec le courant électrique du nerf qui le commande et plus particulièrement avec les variations, on est en droit de penser que la superposition d'un courant de haute fréquence dont la valeur absolue est très grande relativement au courant électrotonique, est capable de modifier très nettement la circulation de ce dernier, la propagation des courants de haute fréquence dans le corps humain se faisant nous l'avons signalé, par la solution sanguine, il est évident que le courant suit de préférence les grands troncs circulatoires que représentent une section liquide importante et qu'ainsi ils suivent et diffusent dans les nerfs dont le trajet est le plus souvent parallèle au tronc circulatoire.

D'autres actions importantes sont produites par les courants de haute fréquence mais alors que celles que nous venons de voir ont une individualité propre, les autres paraissent secondaires aux actions

1. A. Nemours, *Traitement des affections douloureuses abdominales par la diathermie*. Communication à la Société de Médecine de Paris, octobre 1928, rapporté dans le *Journal de Médecine de Paris*, n^o du 18 avril 1929).

capitales que nous venons de voir. C'est ainsi que le relâchement des fibres lisses, la sudation, les modifications de la tension sanguine artérielle se produisent avec un décalage plus ou moins considérable sur l'établissement du courant, décalage qui est d'ailleurs variable avec le sujet. Les modifications sanguines elles-mêmes ne sont que des modifications secondaires aux variations de la vitalité des tissus et de nombreux examens de sang, pratiqués sur des sujets soumis à la diathermie ont montré que le courant de haute fréquence n'avait aucune action propre sur la composition sanguine.

De même l'action stérilisante signalée dans les applications poussées à la limite de la tolérance thermique (surtout dans les voies urinaires) paraît moins en rapport avec la chaleur tuant le microbe directement qu'avec une stimulation de tous les globules blancs bactéricides ainsi que semble bien le montrer les nombreux examens microscopiques auxquels on a procédé après de semblables applications cliniques ayant produit finalement des résultats thérapeutiques définitifs (Roucaïrol).

Plus tardivement, apparaissent des phénomènes résultant de l'action prolongée d'augmentation circulatoire, c'est le groupe des actions sur la nutrition générale, sur la vie et la fonction cellulaire, action sur les échanges respiratoires thermo-génèse animale et sécrétion urinaire (d'Arsonval). C'est à ce groupe qu'il faut rattacher une action en apparence différente, l'action sur les microbes et les toxines

(atténuation et même destruction). Il ne nous a pas semblé nécessaire jusqu'ici pour expliquer les différentes actions physiologiques du courant de haute fréquence de faire appel à la « résonnance cellulaire » due aux secousses fournies aux cellules par les trains d'ondes successifs.

Cependant, l'influence sur l'organisme humain que l'on a cru devoir attribuer ces temps derniers dans certains milieux scientifiques à des rayonnements divers plus ou moins bien caractérisés, nous obligent à parler d'un sujet que nous aurions préféré laisser de côté puisque nous n'avions pas eu besoin d'y faire appel pour expliquer simplement l'action des courants que nous étudions et qui risque de nous attirer de violentes ripostes.

Toute réflexion faite, nous avons pensé être incomplet en ne l'abordant pas.

Le champ électrique constitue la propriété la plus permanente de l'électron mais quand celui-ci se déplace il en acquiert d'autres qui moins fondamentaux, sont cependant d'une importance qui nécessite qu'on s'en rende bien compte.

Deux cas sont à considérer selon que l'électron se déplace selon un mouvement uniforme ou d'un mouvement soit accéléré, soit retardé.

**Electron se déplaçant
d'un mouvement uniforme.**

Si comme dans le passage d'un courant continu par exemple, le mouvement de l'électron est uniforme (intensité constante) l'électron est le siège d'un champ magnétique H qui est perpendiculaire au plus formé par le champ électrique de l'électron et le déplacement de celui-ci.

**L'électron se déplaçant
d'un mouvement variable.**

Dès l'instant que le déplacement de l'électron se fait d'un mouvement soit accéléré soit ralenti (accélération ou retardation) les phénomènes se compliquent singulièrement. Or c'est justement le cas des courants alternatifs qui présentent régulièrement des accélérations et des retardations variables du mouvement des électrons.

Dans ce cas particulier les champs électriques et magnétiques précédemment décrits persistent mais deux nouveaux champs font leur apparition et se superposent aux précédents.

A. — Un champ magnétique de même direction que le champ de l'électron en mouvement uniforme mais qui en diffère nettement par ce caractère que son intensité diminue proportionnellement à la dis-

tance alors que le précédent diminuait avec le carré de celle-ci.

B. — Un champ électrique parallèle au champ de l'électron est par conséquent perpendiculaire au plan formé par les champs électriques et magnétiques de l'électron en mouvement uniforme.

Ce n'est pas tout, ces deux champs loin comme les précédents d'être fixes dans l'espace s'y déplacent avec la vitesse de la lumière, ils constituent le champ de rayonnement électro-magnétique créé par le courant et c'est justement ce champ qu'émet les antennes de T. S. F.

C'est aussi ce champ et non pas le mouvement des électrons (c'est-à-dire le courant) qui à une fréquence beaucoup plus élevée constitue la chaleur rayonnante (intra-rouge médical), la lumière, l'ultra-violet, les rayons X, les rayons Gamma et probablement les rayonnements cosmiques.

Mais dans ce domaine des vibrations électro-magnétiques extrêmement rapides les phénomènes se compliquent et il faut admettre que l'émission se fait d'une manière discontinue et pour l'expliquer faire appel à la théorie des quantas.

Etant donné l'action sur l'organisme de ces radiations action patente et non contestée il paraît logique et naturel à première vue de supposer qu'une radiation beaucoup plus longue puisse avoir une action thérapeutique qui pour différente (ainsi que l'infra-rouge diffère des ultra-violets qui eux-

même différent des rayons X) n'en différeraient pas moins.

L'action physiologique prouvée, la question se poserait alors de savoir quelle part reviendrait dans ces radiations à l'action propre du courant de haute fréquence.

Or, l'effet le plus clair de l'onde électro-magnétique sur le corps humain est de produire des courants induits au travers de celui-ci. C'est l'auto-conduction de D'Arsonval et il faut remarquer que dans cette application l'intensité du champ magnétique est formidable tout étant prévue pour sa concentration.

Dans leur ensemble les actions physiologiques observées au cours de ces applications sont tellement comparables à celles constatées dans l'emploi de la haute fréquence directe que l'on a dans la pratique abandonné peu à peu cette modalité de traitement qui est un peu plus compliquée (grand solénoïde).

Ce qui ressort alors nettement en tout état de cause c'est que toute l'action constatée peut aussi bien être rattachée au courant induit qu'au champ électro-magnétique qui crée ce courant puisque l'un est inséparable de l'autre et l'on se rend compte qu'il est impossible de trancher la question d'une manière absolue et définitive.

Mais ce qui pour nous paraît une certitude c'est qu'il n'existe pas d'action due au champ électro-magnétique que l'on ne puisse attribuer au courant

et dans ces conditions il nous semble probable que l'action du champ soit toujours due au courant qui l'engendre.

D'ailleurs on a pu avec des appareils à ondes relativement courtes (expérience de Baudoin et Gondet) obtenir le passage du courant de haute fréquence et ses effets habituels au travers de l'organisme au moyen d'électrodes placées à une certaine distance du sujet (passage par champ électrostatique variable comme dans le lit condensateur).

On a beaucoup discuté ce sujet en Amérique où il y a des partisans de la thèse de l'ébranlement cellulaire et des adversaires aussi convaincus les uns que les autres. Pour nous étant donné ce que nous venons de dire nous sommes peu enclins à croire à la première théorie et sommes très frappés du fait que la résonnance cellulaire ne serait capable de se produire que pour une longueur d'onde caractéristique et unique et non pour n'importe quel courant de haute fréquence.

Il est donc vraisemblable que le circuit du malade est apériodique car l'action thérapeutique de la haute fréquence semble très peu variable pour de grandes variations de la fréquence.

Un argument reste en faveur de l'action du champ produit par le courant c'est celui de l'action des radiations ultra-violettes et X. Il nous semble vraisemblable qu'elles ne doivent commencer justement qu'au moment où le mouvement vibratoire devient si rapide qu'ainsi que nous l'avons signalé précé-

demment ils deviennent nécessaires dans l'explication physique des phénomènes de faire appel à la théorie des quantas.

Il est d'ailleurs logique de penser que comme pour l'action de tout mouvement périodique celles-ci ne doivent exister qu'à partir d'une fréquence déterminée et ne persister que jusqu'à une certaine fréquence limite à ce moment une autre action très différente peut en général se manifester à son tour.

C'est pourquoi à titre d'exemple typique il est vraisemblable que le rayonnement cosmique que l'on considère actuellement comme de la famille des rayons Gamma du radium (mais en beaucoup plus pénétrants, ils traverseraient des épaisseurs de plombs formidables) ne semble avoir aucune action sur notre organisme.

Nous pensons qu'en tous cas l'hypothèse de l'action propre de ses rayonnements ne doit être admise que si des expériences bien démonstratives semblent l'établir et si d'autre part aucune autre cause ne peut plus simplement en fournir l'explication.

Nous ne croyons pas qu'actuellement il en soit ainsi pour le rayonnement électro-magnétique.

Parallèles physiologiques entre les appareils à lampe et les appareils à éclateurs

On a voulu à l'apparition des appareils à lampes, supposer que ceux-ci resteraient bientôt seuls utilisés et que le vieux dispositif à éclateurs de D'Arsonval après de si beaux états de service allait connaître l'abandon. Il n'en a rien été ; mais depuis les communications dans les Sociétés scientifiques, surtout celles des chirurgiens à propos des radios bistouris, ont tenté d'opposer les deux générateurs.

Nous ne les suivrons pas dans cette tentative et nous nous contenterons d'établir un parallèle physiologique entre eux, qui correspondra au parallèle que nous avons établi au point de vue électrique et qui en sera la déduction logique.

Nous avons vu que la durée du passage d'un train d'ondes d'un appareil à éclateurs était dans les meilleures conditions possibles environ cent fois plus courte que la durée d'oscillations ($1/2$ période) d'un appareil à lampes. Dans ces conditions la simple logique doit faire penser que pour quel'échauffement moyen soit le même il faut que l'intensité qui passa dans un appareil à éclateurs soit beau-

coup plus élevée que celle d'un appareil à lampes puisque la durée du passage est plus courte.

Des mesures très précises (effectuées au moyen de l'oscillographe cathodique dont nous parlerons au chapitre des mesures) ont montré qu'il en était bien ainsi. L'intensité instantanée dans un appareil à éclateurs atteint au moins 50 fois celle d'un appareil à lampes. La brusquerie du dégagement de chaleur au sein des tissus est donc 50 fois plus grande. Il s'ensuit que les phénomènes de conduction calorifique au sein des tissus se trouvent modifiés par cette brusquerie et cette localisation de l'échauffement.

D'autre part, l'effet de massages doit se trouver plus marqué avec les appareils à éclateurs. En effet, le passage d'un train d'ondes, agit nous l'avons vu, sur les ions de la solution de sérum sanguin. La secousse de déplacement de ceux-ci dépend directement du champ électrique appliqué, mesuré en volts par cm. et le choc des ions contre les molécules mobiles se trouve directement proportionnel à cette tension.

L'action anesthésique due aux interruptions d'un courant auquel est soumis le nerf doit être proportionnel à l'intensité de ce courant. Or, chaque train d'ondes d'un appareil à éclateurs dure tellement peu de temps qu'on peut le considérer comme un trait unique et le silence très long entre deux trains d'ondes successives correspond très sensiblement à l'interruption obtenue sur le courant continu par

l'appareil de Leduc. C'est pourquoi on est en droit de supposer que l'action anesthésique du courant doit être beaucoup plus considérable avec les appareils à éclateurs qu'avec ceux à lampes dont la courbe de production s'éloigne beaucoup de celle du courant interrompu préconisé par Leduc pour provoquer l'anesthésie.

L'expérience clinique vient confirmer d'une manière éclatante cette hypothèse. C'est ainsi que la plupart des communications faites à propos de la comparaison des appareils à éclateurs et à lampes signalent les heureux effets calmants obtenus au moyen soit des appareils à éclateurs soit même du vieux dispositif de D'Arsonval alors que les appareils à lampes n'arrivent jamais à produire aussi bien.

Dans l'arthrite rhumatismale, dans les calcifications de la bourse sous acromiale, Vignal a signalé les excellents résultats sédatifs qu'il avait obtenus dans la haute fréquence au moyen d'appareils à éclateurs, résultats qu'il n'avait pu obtenir au moyen d'ondes entretenues.

L'effet faradique que présente malheureusement assez souvent ces appareils vient contrarier souvent plus ou moins cet admirable effet sédatif. Par contre, il y a des effets propres qui viennent s'ajouter. C'est ainsi qu'au moyen de l'appareil à effet faradique variable mis à notre disposition à la Pitié par la Maison Walter, nous avons pu constater cette règle à peu près absolue à savoir : que l'appa-

reil étant poussé au maximum d'intensité les malades n'accusaient une forte sensation calorifique qu'autant que l'on mettait en train le dispositif de faradisation et proportionnellement à l'intensité de cette dernière.

Le fait a été signalé à la Société Française d'Electrologie par notre Maître le D^r Delherm lors de la présentation de l'appareillage. Il n'y avait trouvé à cette époque aucune explication.

Depuis les expériences que nous avons entreprises nous ont donné l'explication du phénomène.

Les appareils à éclateurs sont fort éloignés de fournir une onde pure, mais donnent au contraire autour d'une onde fondamentale un « bouquet » d'harmoniques dont l'intensité est loin d'être négligeable. Pour de faibles intensités seule l'onde fondamentale compte, mais dès que celle-ci devient notable les harmoniques entrent en jeu. Or leur longueur d'onde est telle qu'ils sont capables de provoquer des phénomènes sensitifs d'abord, puis des phénomènes excito-moteurs, parmi ceux-ci l'excitation des vaso-moteurs est indéniable elle s'effectue dans le sens d'une vaso-constriction qui s'oppose dans une certaine mesure à la lutte contre l'hyperthermie et limite de ce fait la tolérance de l'application. En même temps la vaso constriction tend à produire de l'anesthésie ou à renforcer celle déjà produite par le courant.

En dehors des différences de tension et de la discontinuité de production du courant, la plus

importante différence entre les deux appareils, est certainement cette existence, dans les appareils à éclateurs, d'ondes capables d'amener des actions vaso-motrices.

Elles sont capables d'amener chez les atoniques de forts bons résultats mais peuvent être aussi l'origine d'intolérances chez les hyper-excitables nerveux, chez les algiques (sciatique et névralgie) ainsi que chez les grands spasmodiques.

Si l'on a bien compris la grande différence du mode d'action des deux appareils on choisira facilement celui qui convient le mieux à un cas déterminé, et pour finir sur un exemple typique, nous indiquerons que c'est l'appareil à lampe qui conviendra à un constipé spasmodique avec coliques, alors qu'il serait presque sans action chez un constipé par atonie ou l'appareil à éclateur sera susceptible d'amener la guérison.

Des mesures.

Nous avons cru bon de préciser ici la portée des mesures que l'on peut faire en haute fréquence et quel est l'appareillage qu'elles nécessitent.

Tous les appareils possèdent actuellement un milliampèremètre thermique qui indique l'intensité du courant circulant au travers du malade. On a attiré l'attention sur la valeur extrêmement relative de ces mesures, à la Société d'Electrologie à la suite de travaux du Professeur d'Arsonval (1) et d'un article dans la *Presse médicale* qui concluait que les courants de haute-fréquence n'obéissent pas à la loi de Joule (2). Cette affirmation en elle-même est fausse ; tous les courants électriques qu'ils soient continus ou alternatifs, obéissent à cette loi mais il ne faut pas l'appliquer à des courants plus ou moins déphasés ainsi que le savent depuis longtemps les ingénieurs s'occupant des courants alternatifs dans l'industrie.

Les expériences du professeur d'Arsonval n'avaient d'autre but que de vérifier cette proposition et il avait suggéré à la fin de sa communication que cette

1. *Compte rendu Académie des Sciences*, t. 185 (p. 324).

2. *Presse médicale*, 8 février 1928, p. 163.

exception apparente des courants de haute fréquence à la loi de Joule, n'était vraisemblablement due qu'à un déphasage due à la présence d'une capacité parasite introduite par le corps humain dont la peau, au contact des électrodes devait être considérée comme diélectrique.

Nous avons traité précédemment ce sujet et dit que le Professeur Strohl a montré que l'on pouvait prévoir à l'avance par le calcul d'une manière très satisfaisante les résultats obtenus par le Professeur d'Arsonval.

Depuis, des mesures effectuées au moyen de l'oscillographe cathodique sont venues confirmer d'une manière éclatante ces faits. L'importance au point de vue de haute fréquence de cet appareil enregistreur qu'est l'oscillographe cathodique, nous oblige à en expliquer le fonctionnement simple quoique peu connu et à montrer quel instrument merveilleux il est et combien son utilisation est souhaitable pour faire progresser rapidement l'étude des courants de haute fréquence.

Un faisceau de rayons cathodiques est constitué on le sait par des électrons se déplaçant à la grande vitesse dans une atmosphère raréfiée. Il est facile actuellement de produire un tel faisceau et même d'en déterminer la vitesse avec précision. Etant formé d'électrons, le faisceau cathodique est dévié par les champs magnétiques, par les champs électriques, par les champs électrostatiques et la direction dans laquelle s'exerce ces champs, provoque la

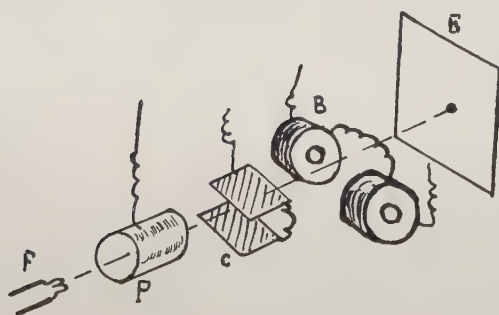
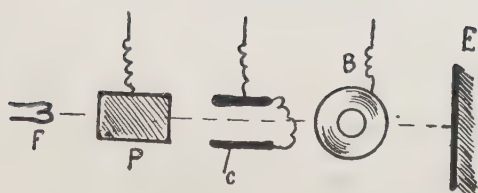
direction du faisceau dans un sens déterminé. Il est donc facile d'orienter ces actions de telle sorte que les déplacements dus par exemple à l'intensité et à la tension d'un courant soit perpendiculaire l'un à l'autre.

En recevant le faisceau cathodique sur un écran fluorescent, on pourrait étudier les déplacements de la tache lumineuse due aux bombardements des rayons cathodiques, et en remplaçant cet écran par une plaque photographique on pourra enregistrer ces déplacements pour les étudier à loisir. On verra sur la figure le schéma de principe de cet appareil et quelques caractéristiques des images qu'il a permis d'obtenir dans l'application des courants de haute fréquence.

La mesure de la fréquence n'a pas été à notre connaissance l'objet d'études sérieuses (1). C'est là, nous en sommes convaincus une omission grave et d'autant plus inexcusable que la T. S. F. a mis au point des appareils d'une simplicité enfantine pour faire de semblables mesures avec une précision qui dépasse de beaucoup celle qui est nécessaire aux médecins. Nous avons fait appel pour les mesures dont nous allons parler à un ondemètre d'émission à lampes au néon (2) que nous allons décrire rapidement car il est d'une construction facile, on peut le

1. A la demande de Laquerrière, les mesures en haute fréquence avaient été mises à l'ordre du jour de la Société Française d'Electrologie en 1928.

2. Nous avons pris les renseignements pour cette construction dans la T. S. F. moderne.



L'Oscillographe cathodique de "Dufour"
(Principe)

1520 =

1520 =

1520 =

faire étalonner pour une dépense modique et à moins de destruction d'un enroulement il est ensuite pratiquement invariable. Un circuit oscillant de réception est constitué par un self amovible liée à un condensateur variable de capacité peu élevée ($1/2$ à $3/4$ de millième de microfarad) et muni d'une bonne démultiplication. La self est amovible de façon à pouvoir couvrir n'importe quelle gamme de longueur d'onde par changement de celle-ci. L'énergie captée par ce circuit monté en résonnance parallèle est purement et simplement envoyée dans une lampe témoin au néon (lampe veilleuse que l'on trouve dans le commerce pour quelques francs) et dont on a simplement enlevé la résistance fixée dans le culot.

Cet appareil couplé d'une manière assez lâche avec le circuit de l'appareil générateur de haute fréquence s'illumine très nettement dès que l'on atteint une résonnance soit fondamentale soit harmonique de l'émetteur. Si l'appareil est construit avec quelques soins, la pointe de résonnance se détermine très facilement. On constate ainsi un certain nombre de faits d'autant plus intéressants à connaître que les constructeurs n'en parle jamais ou même nous avons pu le constater, le nie froidement. C'est ainsi que la richesse en harmonique de la plupart des appareils à éclateurs est fantastique, à tel point que l'onde-mètre passe par une série d'illuminations successives avec la rotation lente du condensateur de réglage, pour certaines zones même, l'appareil ne

s'éteint à peu près pas et on doit découpler fortement le circuit pour obtenir une indication sur l'intensité de l'harmonique.

Nous avons pu déterminer dans un appareil à éclateur des ondes d'intensité telles, qu'il était impossible de savoir quelle était la fondamentale comprise entre 150 et 400 mètres. On trouve aussi, surtout si l'éclateur n'est pas parfaitement réglé, ou est encrassé, des ondes de 1.000 à 1.500 mètres que nous avons montré capables de produire des excitations sensitivo-motrices. Ce sont ces ondes « longues » qui produisent les sensations accusées par les patients et sont cause de la faradisation sans qu'il soit nécessaire de supposer un redressement partiel de la peau pour expliquer ce phénomène.

Gondet ayant démontré l'existence d'un léger courant de redressement lui avait attribué l'effet faradique (détection de la modulation de la haute fréquence).

Technique des applications

Elle se déduira dans cette étude de toutes les connaissances que nous venons de préciser sur le mode d'action et les propriétés particulières des courants de haute fréquence.

Des conducteurs.

Ce que nous avons dit du skin effet indique qu'il est bon que les conducteurs soient à brins multiples cependant il ne faut pas trop s'illusionner sur les pertes qui peuvent s'effectuer dans un conducteur d'une seule pièce. Le plus grand avantage qu'il y ait à employer les conducteurs à brins multiples est la souplesse de ceux-ci.

L'isolement est assez important il faut autant que possible du cable haute tension. Nous n'insisterons pas davantage sur ce sujet et nous signalerons simplement que le meilleur conducteur que nous ayons rencontré à utiliser nous a comme par hasard été vendu dans une maison de T. S. F. et que c'est du cable d'entrée d'antenne. L'isolement d'un tel cable est excellent et, point qui n'est pas à dédaigner dans la pratique, leur poids est beaucoup moins

considérable que ceux des câbles fournis par les marchands de matériel médical, et de plus il ne se coupe jamais.

Des électrodes.

Ce point de détail est l'objet de beaucoup de partis pris. Chaque électrothérapeute a ses préférences : ici encore pourtant il faut être logique et un simple essai impartial doit convaincre que la pratique est absolument d'accord avec la théorie.

La seule difficulté à vaincre est d'avoir un bon contact et pour ce faire il faut remplir deux conditions :

1^o Avoir une pression suffisante sans être pénible sur le patient ;

2^o Obtenir un moulage aussi parfait que possible de l'électrode sur la région à traiter.

Le premier point est obtenu d'une manière satisfaisante par un certain nombre de procédés. Parmi ceux-ci il faut citer l'emploi de bandes de caoutchouc, celui de sac de sables ou enfin l'emploi de ceinture maintenue par des courroies et possédant des ressorts capables d'appliquer les électrodes. Tous ces procédés nous ont donné de bons résultats. Nous les avons tous abandonnés pour en employer un beaucoup plus simple qui donne dans presque tous les cas des résultats incomparables.

C'est l'emploi au-dessus de l'électrode métallique d'un coussin pneumatique faiblement gonflé. Il

suffit alors d'une très faible pression sur ce coussin pour qu'il se moule immédiatement sur la région à traiter.

La nature de l'électrode métallique devant amener le courant en contact avec l'épiderme est soit d'aluminium soit le plus souvent d'étain. Ici, il convient de signaler simplement que pour s'éviter tout ennui il faut que le métal employé soit pratiquement inaltérable à l'air humide. L'étain a notre préférence parce que métal assez mou il épouse les contours de la région où l'on place l'électrode.

Nous avons employé pendant longtemps dans le service de notre maître et D^r Delherm de grandes électrodes en toile métallique fine (laiton) cousu sur un feutre destiné à maintenir une humidité assurant un meilleur contact ; ayant remarqué que les brûlures ou les picotements désagréables se produisent toujours sur le bord des électrodes notre Maître avait eu l'idée de faire coudre une bande de caoutchouc isolante au pourtour du treillis assurant la répartition du courant sur la surface cutanée. Dans l'emploi des plaques en étain malléable nous avons obtenu le même résultat en collant sur une plaque de mousse de caoutchouc la plaque d'étain conductrice au moyen de la colle spéciale épaisse servant à coller les bandages pleins sur le pourtour des roues métalliques.

La plaque de mousse de caoutchouc est de dimensions légèrement plus grandes que la plaque métallique si bien que la peau environnante est protégée

par ce pourtour de même manière que dans celle en treillis métallique.

Ce procédé a encore un avantage qui est de permettre de souder l'arrivée des fils à la partie postérieure de la plaque et de dissimuler le conducteur dans une échancrure faite dans l'épaisseur de la mousse ce qui évite totalement toute surépaisseur. Enfin dernier point, la plupart des auteurs placent les électrodes sèches sur la peau et prétendent obtenir ainsi un excellent contact. Personnellement nous n'aimons pas cette méthode, car en dépit de toutes les précautions que l'on prend, il y a souvent au début de l'application, une sensation de picotements plus ou moins agréables qui inquiètent le malade et qui en particulier chez l'enfant peuvent obliger à interrompre l'opération.

Partant de cette idée, que la conduction du corps humain est due à la présence de sérum, et que la résistance de la peau représente de beaucoup la plus grande fraction de résistance totale du circuit, nous avons pensé à imbiber celle-ci au moyen d'une solution au chlorure de sodium et nous avons pu constater immédiatement la disparition de toute sensation du malade au niveau des électrodes, ainsi que la possibilité d'augmenter d'une manière très nette l'intensité tolérée pour une application déterminée.

A titre d'exemple, nous signalerons que la résistance dans une application de diathermie abdominale avec des électrodes d'environ 50 cm², peut arriver à

tomber au-dessous de 10 ohms dès le début de l'application sous des électrodes mouillées avec une solution de sérum à 10 %. Nous signalerons aussi qu'au moyen de grandes électrodes maintenues par un coussin pneumatique ainsi que nous l'indiquions, il nous a été possible d'atteindre pendant quelques minutes chez un patient une intensité de 4 ampères (1) qui n'est d'ailleurs pas descendue à aucun moment au dessous de 3 ampères 5. Dans ce cas particulier, les phénomènes généraux dus au courant de haute fréquence, atteignirent leur maximum et à la transpiration du sujet, l'augmentation du rythme respiratoire, la rougeur de tous les téguments et la sensation tout à fait particulière de chaleur interne furent tels qu'ils eurent une action bienfaisante secondaire qui dépassa de beaucoup les résultats locaux dus aux passages du courant et qui sont à rapprocher de ceux obtenus autrefois par l'auto conduction. La solution du chlorure de sodium, présente cependant un petit inconvénient qui est d'avoir tendance à cristalliser sur les électrodes chez les malades qui ne transpirent pas ou peu. Aussi, avons-nous eu l'idée de recourir à ses lieux et place à une solution de chlorure de calcium au même taux ; celle-ci on le sait ne sèche jamais étant donné, le pouvoir hygroscopique de celui-ci.

La dimension des électrodes est limitée par celle de la région à traiter mais la règle générale qui est

(1) Avec un appareil éclateur.

d'ailleurs parfaitement logique, est qu'il faut toujours employer la plus grande électrode compatible avec celle-ci. On peut ainsi faire passer une intensité toujours plus grande au travers de l'organe et d'autre part, la densité cutanée du courant ne dépasse jamais les limites acceptables.

Il faut éviter cependant, autant que possible, de mettre une électrode à cheval sur une région dépourvue de squelette sous-jacent et au contraire riche en plan osseux comme par exemple la région des dernières côtes et la paroi abdominale. Car dans ce cas, on a toujours des phénomènes d'intolérance au niveau des plans osseux alors qu'on atteint pas une intensité de l'ordre de grandeur de celle qui pourrait être tolérée sur la région abdominale seule.

Quand il faut absolument avoir ainsi les électrodes à cheval sur des régions différentes il est nécessaire d'augmenter d'environ $1/3$ la surface d'électrode placée sur le plan osseux par rapport à celle placée sur le plan uniquement musculaire. L'intensité tolérée dans ce cas est alors sensiblement le même pour les deux plans.

Toutes ces particularités d'application clinique sont le fruit de nombreux traitements effectués en diathermie abdominale ou la nécessité d'obtenir la tolérance des intensités les plus élevées possibles conduit à étudier minutieusement les conditions de tolérance de celle-ci.

On ne doit jamais établir de courant d'emblée à

une intensité voisine de celle à laquelle on veut arriver pendant l'application ; le mieux est évidemment de partir du 0 absolu pour monter progressivement en cherchant l'intensité que la malade supporte sans sensation désagréable avec une action calorifique suffisante.

L'examen du milliampéremètre pendant une application de diathermie abdominale montre le plus fréquemment que l'intensité supportée par le patient est toujours nettement supérieure quand on l'atteint progressivement. D'autre part, une fois que l'intensité est stabilisée, on constate que sans que l'on touche rien à l'appareil le milli continu à monter pendant quelques instants ce qui indique que le courant de haute fréquence traverse plus facilement le patient ou ce qui revient au même que la résistance de celui-ci a diminué.

Ces deux faits s'expliquent facilement : il faut en effet qu'il s'établisse un équilibre entre la quantité de chaleur cédée à l'organisme par le courant et celle qui est entraînée par la circulation sanguine vers des lieux où le refroidissement s'effectue par radiation. Nous avons vu au chapitre de la physiologie qu'il semblait bien que l'action vasodilatatrice fut secondaire au dégagement de chaleur au sein des tissus et qu'elle n'était qu'un moyen de défense de l'organisme contre une température mettant en péril la vie cellulaire. La constatation clinique que nous venons de signaler est une confirmation, car si l'on peut faire tolérer une intensité plus forte au

bout de quelques instants c'est parce que l'accélération générale de la circulation et des échanges thermiques et respiratoires de l'organisme ont eu le temps de s'établir. On voit d'ailleurs souvent dans les applications diathermiques abdominales avec des grandes électrodes le facies devenir plus ou moins vultueux, la respiration s'accélérer et une sudation plus ou moins importante s'établir. C'est chez les malades présentant ces phénomènes que l'on peut atteindre les intensités les plus élevées. De même, c'est parce que la circulation s'est accélérée que la conduction de l'organisme est devenue meilleure et l'augmentation spontanée de l'intensité marche absolument de pair avec la manifestation des symptômes secondaires que nous venons d'indiquer.

Il faut toujours se méfier des sensations de picotements accusées par les malades, celles-ci rendent rapidement intolérables les applications et même causent quelquefois des petites brûlures sans que les malades s'en aperçoivent.

Il faut prévenir le patient des sensations qu'il peut éprouver avec les appareils à éclateurs, il y a presque toujours lorsqu'on a une intensité suffisante, une sensation faradique de passage du courant qui est particulière et se différencie nettement de celle des petites étincelles dues à un mauvais contact. Quand on atteint cette sensation que les malades comparent à un frémissement ou encore à un mouvement, comme si « une bête remuait » dans

la profondeur de leurs tissus. On se trouve en général proche de l'intensité limite possible sans sensation calorifique désagréable, et il y a là un point de repère qui peut être précieux. Nous n'avons jamais cru utile, en diathermie abdominale tout au moins de procéder à des mesures de température cutanée sur les électrodes par couples thermo-électriques. Ces mesures en effet ne fournissent que des résultats sans grand intérêt car tout bon contact des plaques amène toujours une élévation de température moindre au contact de celle-ci que dans la profondeur, et la sensation thermique profonde des malades est toujours un excellent critérium pour éviter les incidents. Toutes les brûlures signalées l'ont en effet été à notre connaissance au niveau de la peau et avec une bonne application des électrodes mouillées dans la solution au chlorure de calcium, nous avons toujours eu dans les cas les plus difficiles un contact absolument parfait.

Il convient de signaler pour être complet que des précautions tout à fait particulières doivent être prises avec les malades présentant des anesthésies et plus particulièrement des troubles syringomyéliques. Mais ces cas sont heureusement rares et l'attention du praticien qui surveille son malade est toujours mis en éveil lorsqu'au voisinage d'intensité moyenne le malade n'accuse aucune sensation de chaleur, même très douce. Nous avons d'ailleurs pris l'habitude d'interroger systématiquement les malades sur cette sensation, ce qui nous a

évitée une fois d'élever intempestivement l'intensité chez un malade que nous soignons pour une sciatique et qui présentait en réalité un tabès.

Les intensités moyennes tolérées.

Elles sont très variables suivant les maladies ce qui était à prévoir et elles dépendent, ce qui est logique aussi, des troubles circulatoires possibles et de la vascularisation de la région comprise entre les électrodes.

En diathermie abdominale, il n'est pas de malade chez qui on ne puisse atteindre au moins un ampère avec les électrodes que nous avons indiquées mais ce chiffre est un minimum. En moyenne, l'intensité de 1.500 à 1.800 milli est maintenue chez la plupart des malades sans aucune sensation autre que celle de chaleur très douce et très agréable. On peut sans grandes difficultés, chez les malades qui n'ont pas peur, atteindre 2.400 milli, mais à ce moment tout au moins avec les appareils à éclateurs il y a toujours une sensation faradique qui rend l'application plus pénible. Avec les appareils à lampes au contraire, on atteint jusqu'à 3.500 milli avec la simple sensation de douce chaleur et de détente abdominale.

L'intensité de 4 ampères nous apparaît une intensité expérimentale limite qu'on ne peut obtenir qu'avec des précautions spéciales.

Accidents ou incidents

L'accident c'est la brûlure. Nous avons vu son mécanisme et en diathermie abdominale elle n'est à peu près pas à craindre c'est surtout au niveau des membres qu'on la rencontre. En abdominale, deux points sont le siège tout au moins de débuts d'altération cutanée. Ce sont d'une part le point d'arrivée du courant quand la fixation du fil est faite d'une manière imparfaite, d'autre part, le bord costal inférieur qui présentait un plan osseux sous-jacent immédiatement aux téguments, fournit un obstacle résistant qui augmente le dégagement de chaleur en ce point. C'est donc surtout dans les applications spécialement hépathiques que l'on doit penser à prendre des précautions spéciales à ce sujet.

Les incidents sont surtout dus soit à des mauvais contacts des électrodes en certains points, ce qui entraîne des minuscules petites étincelles, lesquelles provoquent une sensation de picotements extrêmement désagréables contre lesquelles le malade non prévenu réagit immédiatement en soulevant l'électrode, ce qui, bien entendu amène immédiatement le découplage du phénomène et parfois des brûlures par étincelles, lesquelles sont superficielles mais assez douloureuses surtout sur le moment, soit de petites brûlures par étincelles dues à des phéno-

mènes de self induction entre un membre du malade par exemple et une région de son corps assez éloignée qu'il touche incidemment, soit deux contacts imprévus avec le sol ou une masse métallique en contact avec celui-ci. Jamais ces incidents ne sont très graves mais ils sont très désagréables pour les malades et la crainte qu'ils laissent ensuite de leur renouvellement empêche de pouvoir faire des applications en se fiant aux dires du patient.

La confiance de celui-ci est absolument nécessaire pour qu'il s'abandonne car toute contracture ou contrainte est très fâcheuse pour effectuer une bonne application.

La fatigue secondaire à une application de forte intensité et les sensations sympathiques, ne sont pas à proprement parler des incidents mais des conséquences logiques de l'application dont il faut prendre simplement la précaution d'avertir le malade avant de commencer. L'exacerbation des phénomènes douloureux n'est pas fréquente chez la plupart des malades surtout lorsque l'on prend la précaution de tâter la susceptibilité au début du traitement.

La durée des séances est pour quelques auteurs de vingt minutes. Elle nous a paru devoir être de dix minutes au moins pour pouvoir obtenir un résultat appréciable, et la plupart des auteurs conseillent celle de 15 minutes.

Nous considérons qu'il n'y a pas de règle absolue en cela, qu'il faut être éclectique et ne pas systématiquement faire la même durée à tous les malades.

C'est justement le rôle du bon électro-thérapeute de déterminer la durée de la séance en fonction de la physiologie du patient, des conditions thérapeutiques et des indications que lui fournissent des appareils de mesure.

En règle générale une séance courte doit atteindre une intensité assez forte rapidement pour pouvoir être efficace et on est alors souvent en présence de symptômes d'intolérance de la part du malade.

Nous préférons élever très progressivement l'intensité et la maintenir longtemps à un chiffre moyen. On peut alors pour la dernière partie de l'application monter à des intensités élevées qui sont fort bien supportées. C'est ainsi que souvent nous débutons pendant les cinq premières minutes par une intensité croissante jusqu'au chiffre de 12 à 1500 milli environ, nous laissons les réglages établis pour cette valeur pendant dix minutes si l'on constate fréquemment (ce que nous avons signalé tout à l'heure) que l'intensité a continué à monter pour atteindre près de 2.000 milli. Pendant les cinq dernières minutes nous élevons alors l'intensité jusqu'au voisinage de la limite supportable par le patient. Une autre technique consiste à atteindre une intensité de 12 à 1500 milli assez rapidement puis de ne plus toucher au réglage pendant le reste de la séance, celle-ci peut alors avantageusement être prolongée pendant 30 à 45 minutes. Cette dernière technique est préférable chez les malades hyperspasmodiques et chez ceux nerveux qui sont impressionnés par

l'appareillage électrique. Tout cela est affaire de logique et rien de ce que l'on peut observer au cours d'une application n'est surprenant pour qui connaît bien l'agent qu'il manie.

Les malades justiciables de diathermie.

Les indications de la diathermie découlent des propriétés de celles-ci et de son action physiologique. L'action inhibitoire et antispasmodique conduira à l'employer contre tous les troubles colitiques et dans les modifications et contractions indépendantes de notre volonté telles que celles de la vésicule biliaire, de l'estomac, du gros intestin, etc.

L'action circulatoire intense conduira à l'employer dans tous les cas où les tissus ne sont pas suffisamment nourris, où la vaso-constriction pathologique amène une déficience nutritive et où comme corrolaire les sécrétions sont insuffisantes. C'est ainsi que la diathermie transhépathique amènera un fonctionnement plus sûr et plus régulier du foie et cela d'une manière extrêmement douce qu'aucun autre procédé thérapeutique ne pourrait égaler à ce point de vue.

L'action cytophilactique due aux actions précédentes dont elle n'est qu'un corrolaire amènera l'organisme à mieux se défendre contre toutes les causes de mortification tissulaire et en particulier renforcera dans des proportions considérables la défense de l'organisme contre les infections ; de là

s'explique la meilleure action dans les affections gynécologiques ainsi que l'a fait remarquer Roucayrol dans une communication.

Enfin lorsque la section que l'organisme a traversée est suffisamment considérable et l'intensité assez élevée la vie entière de l'organisme se trouve modifiée comme dans les anciennes applications d'auto-conduction et l'augmentation générale des combustions, l'activation de l'organisme fortifie celui-ci et les résultats thérapeutiques tiennent alors beaucoup plus à une modification de l'état général que de l'état local. C'est ainsi que dans les grandes applications de diathermie abdominale les glandes à sécrétions internes subissent une action stimulatrice qui pour indirecte qu'elle est, n'en garde pas moins une importance considérable. L'action antispasmodique qui persiste en effet au travers de cette stimulation générale ramène en effet l'équilibre rompu souvent entre les différentes fonctions et parvient à réentraîner ou rééduquer les fonctions déréglées. C'est donc dans les douleurs à type névralgique ou spasmodique dans les troubles circulatoires, et plus particulièrement dans les troubles adhérentiels dans les déficiences glandulaires sans cause évidente que la diathermie connaîtra les plus belles indications et le plus de chances d'amener un succès d'autant plus précieux qu'on est toujours très désarmé contre ce type d'affections.

Notre maître le Dr Delherm a communiqué dans le *Journal médical français* une série de beaux

résultats ou de résultats tout au moins encourageants dans les cas d'algie abdominale sans cause bien nette, dans les cas de périviscérites, d'épiloïtes, d'adhérence avec douleurs post opératoires de troubles de la vésicule biliaire, de troubles stomacaux et intestinaux et enfin dans les affections génitales du petit bassin. Nous allons montrer rapidement que dans ces cas, il est logique de faire appel à la diathermie. Dans les algies, l'action antispasmodique a déjà par elle-même de fortes raisons d'avoir une influence heureuse. Ces malades sont en effet en général hyperexcitables et ils présentent d'ailleurs souvent des constipations à type spasmodiques. Celles-ci cèdent à peu près toujours à un traitement bien conduit et s'il n'y a aucun autre support anatomique à la douleur, on a de fortes chances d'avoir sur elle une influence très heureuse. Il est bien évident que lorsque le malade exagère nettement les symptômes éprouvés et qu'il s'agit plutôt de phénomènes cénestopathiques, la diathermie n'est pas plus efficace qu'aucun autre procédé pouvant frapper l'esprit du patient.

Les adhérences et en général les périodisérîtes sont certainement les affections qui donnent le plus de succès par le traitement diathermique, non pas que la guérison soit la règle certaine, mais parce que plutôt il s'agit, selon l'expression imaginée et fort heureuse de notre maître le Dr Delherm, « de laisser pour compte des grands tailleurs » qui, abandonnés après de multiples essais thérapeutiques,

fournissent encore dans les 50 % de succès lorsqu'ils sont soignés par la diathermie. Il est fort difficile dans ce cas, de dire qu'elle a été exactement l'action anatomique du traitement, puisque le plus souvent il s'agit de malades ayant été plusieurs fois opérés et qui ne veulent plus d'interventions sous aucun prétexte. L'essentiel est de savoir qu'ils sont soulagés mais il est difficile de déterminer si c'est par fusion de leur adhérence ou simplement par adaptation organique ou sédation nerveuse que les symptômes douloureux qui traduisaient l'affection ont disparu.

On peut penser cependant que l'action sytrophilactique du courant a sur les affections relativement récentes, une influence réelle de résolution, par contre nous pensons que les vieilles brides devenues fibreuses, ne peuvent guère être modifiées par le traitement. Il est regrettable à ce sujet que les chirurgiens qui sont tant enthousiasmés par la diathermie lorsqu'il s'agit de l'utiliser en tant qu'instrument opératoire n'aient pas compris tout l'intérêt qu'il y aurait pour eux après nombre d'interventions, à faire précocement des applications de diathermie abdominale qui leur fournirait probablement des résultats opératoires de qualité supérieure et leur éviterait de petites complications éloignées, toujours fort ennuyeuses tout au moins pour le patient.

Une place à part doit être faite aux troubles hépatiques. Il est banal maintenant de signaler l'excellente arme thérapeutique que représente la dia-

thermie dans les troubles hépathiques en général.

Qu'il s'agisse de cholécystique chirurgicale (c'est-à-dire calculeuse ou avec rétention biliaire et réaction péritonéale) ou qu'il s'agisse de toutes les cholécystites chroniques plus ou moins caractérisées, qu'il s'agisse des insuffisances hépathiques ou des troubles de congestion de l'organe, les résultats sont à peu près certains et ne varient que par degré de leur qualité.

Dans les cholésystites chroniques de toute nature, les résultats sont tellement patents que nous nous permettrons de faire remarquer que des stations thermales telles que Vichy, usent d'une manière extrêmement large de la diathermie concurremment avec leur traitement spécial, et les résultats qu'ils ont publiés indiquent nettement l'efficacité de l'agent. Là encore, c'est l'action calmante et de drainage hépathique qui se place au premier plan, les malades qui bénéficient le plus d'une application de diathermie hépatique sont ceux qui sans symptômes nets aux examens radiologiques et cliniques, présentent des troubles douloureux assez brutaux après l'ingestion de certains aliments. L'application de diathermie au milieu d'une crise, calme souvent celle-ci à peu près instantanément. La persistance d'un traitement bien conduit, évite le plus souvent des incidents.

En diathermie hépathique, nous considérons qu'il faut absolument proscrire les intensités tolérables limites, et que la sensation de chaleur douce,

agréable, avec sensation de bien être et de résolution, doit être systématiquement recherché et *jamais dépassée*.

C'est dans ces applications que les longues séances sont particulièrement indiquées. Il y a profit considérable à faire des applications d'au moins 15 minutes. Vingt minutes sont encore préférables et nous avons fait à plusieurs reprises des séances atteignant une heure chez des malades qui éprouvaient un tel bien être sous l'action du courant, qu'ils demandaient d'eux mêmes la prolongation de la séance d'application.

La règle générale que l'on peut énoncer au sujet de la durée de cette application est qu'elle doit être d'autant plus prolongée qu'elle est mieux tolérée et que la sensation si caractéristique de bien être accusée par le patient est plus nette. Ce n'est en effet que chez les hépathiques chroniques que nous avons vraiment remarqué ce phénomène et c'est la raison pour laquelle nous en sommes venu à prolonger la durée de l'application.

C'est aussi chez cette catégorie de patient que nous avons rencontré, mais d'une manière plus inconstante les malades, qui au sortir de la séance signalaient une sensation de digestion brusquement faite et de besoin d'aliments.

Il ne s'agissait nullement là d'une fausse sensation car la prise de nourriture qu'ils effectuaient était particulièrement bien supportée et même leur profitait certainement beaucoup.

Laquerrière a d'ailleurs signalé à la Société d'Electroradiologie le cas d'un américain qui lors de ses séjours à Paris venait faire des applications de diathermie pour faire disparaître les quelques symptômes d'intolérance que manifestait son organisme à la trop bonne chère qu'il faisait dans la Capitale.

Il n'y a pas de doute que tous les électrothérapeutes aient constaté dans leur clientèle des faits plus ou moins semblables.

Presque tous les hépathiques sont constipés, aussi faut-il faire signaler que l'action de la diathermie n'est pas très marquée sur ce trouble et cela indépendamment des autres résultats qui peuvent être absolument remarquables. La constipation chronique ne relève d'ailleurs pas de causes simples, mais d'un enchevêtrement de conditions physiologiques.

Sans y insister nous rappellerons que l'on distingue plusieurs sortes de constipations (1) qui relèvent de conditions différentes selon le siège.

Le point intéressant que nous voulons signaler est que la constipation terminale par stase rectale est susceptible d'une amélioration par une modification de la technique d'application.

En plus de l'électrode dorsale et de celle ventrale, on introduit une électrode rectale en relation avec le conducteur de la plaque dorsale. La plaque ventrale étant de dimensions supérieures à celles habi-

1. Delherm. Thèse de Paris, 1903.

tuelles. L'intensité est naturellement augmentée pour maintenir la sensation calorifique à sa valeur habituelle sous la plaque ventrale. La sensation rectale est en effet presque toujours extrêmement vague. Fréquemment dans l'heure qui suit l'application, il se produit une selle facile. Parfois l'action est très rapide le besoin se manifestant avant la fin de la séance.

Dans les autres formes de constipation l'action est très inconstante et nous pensons avec Laquerrière que les larges applications de courant continu peuvent concurremment être plus efficaces.

On peut considérer que l'application de haute fréquence intra-rectale au cours d'une séance abdominale constitue une variété de lavement électrique particulière. Nous sommes convaincus que la circulation intense dans les vaisseaux hémorroïdaux amène une augmentation de la sécrétion glandulaire, pendant que l'action tonique sur les terminaisons sympathiques réveille le péristaltisme terminal. Il est possible que le courant faradique de l'appareil à éclateur avec lequel nous avons fait ces études ait d'ailleurs joué son rôle dans l'action thérapeutique.

Quoi qu'il en soit, l'action demeure réalisable à volonté par le praticien et elle méritait d'être signalée.

Tout ce sur quoi nous venons d'insister pour les troubles hépatiques est valable pour les affections gynécologiques. D'autant plus d'ailleurs qu'elles

ont un retentissement sur les fonctions glandulaires des femmes qui en souffrent. Aussi les applications de la diathermie aux troubles du petit bassin est-elle très indiquée et compte-t-elle de beaux succès. Elle se fait soit trans-abdominale, soit trans-génitale avec une grosse bougie d'Hégar dans le vagin.

La technique des applications n'a rien de bien particulier, il faut signaler simplement que les intensités tolérées sont énormes sans que l'on ait jamais observé d'incidents ou à plus forte raison de brûlure.

La raison doit en être recherchée dans le fait que le contact est particulièrement bon et que la région d'application est richement irriguée. Pour la même raison les effets généraux sont intenses.

OBSERVATIONS

N° 1. — Mme R. B. Prise alors qu'elle est en course avec une parente, de coliques intenses avec phénomènes syncopaux. L'état est tel que l'on pense à éliminer l'hypothèse d'une grossesse extra-utérine rompue. L'application de diathermie fait cesser instantanément tous les phénomènes dramatiques en même temps qu'il se produit une débacle gazeuse.

De nombreuses séances ont été faites à cette patiente depuis, dans des cas analogues, mais moins intenses. Le résultat a toujours été aussi bon. On a remarqué la constance de la débacle et l'on est même enclin à la reconnaître comme déterminant de l'état syncopal.

Les applications et le régime ont fait presque disparaître les troubles. Une vingtaine de séances très espacées (sauf les premières).

Observations 2, 3, 4. — **Algies.** Mlle A..., 39 ans. Algies liées probablement à des ptoses non réductibles. 20 séances réparties sur deux mois. Sédation rapide des phénomènes intenses. Guérison finale.

Mme W..., 36 ans. Algie épigastrique rebelle depuis 5 ans.

Cas très ancien. Malade ayant essayé de nombreux trai-

tements sans résultats. A. été très améliorée par 13 séances réparties sur deux mois.

Mme L..., 39 ans. Algie ano rectale sans cause apparente.
Guérison en 10 séances.

L'étude de ces cas en détail, semble montrer qu'il s'agissait plus de phénomènes sympathiques que de troubles locaux. La diathermie aurait surtout agi en rétablissant l'équilibre végétatif.

Observations d'adhérences. — Selon la remarque de notre maître le docteur Delherm, il semble que les plus beaux résultats soient obtenus chez des malades dont l'infection causale est éteinte et chez qui persistent seulement des phénomènes cicatriciels. La diathermie verrait alors son action due à l'augmentation de la nutrition des tissus malades.

Ce qui semble bien en faveur de cette hypothèse est le fait que ce sont les opérés ayant tiré un résultat de l'intervention qui voient ce résultat parfait par la thérapeutique diathermique.

Obs. 5. — M. Opéré d'appendicite aiguë, drain pendant 10 jours après l'intervention. Souffre au niveau de sa cicatrice surtout dans la station debout.

20 séances de diathermie ont amené une amélioration telle, que le malade qui est très occupé juge le résultat suffisant et arrête son traitement. Revu trois mois après il se déclare alors complètement guéri.

Dans cette observation, il faut remarquer que le traite-

ment a été fait peu de temps après la fermeture de la plaie et vraisemblablement sur des tissus non encore fibreux.

Les observations qui suivent nous ont été fournies par notre maître le Dr Delherm parmi les nombreux cas traités dans son service de la Pitié.

Obs. 6. — Mlle M..., *Algie intense du creux épigastrique* persistant après une gastro-entérostomie et après une appendicectomie qui l'ont guérie de nombreux autres troubles. Novembre 1923 à mars 1924 : 28 séances. Guérison.

Obs. 7. — M. S..., 31 ans. *Algie des plexus* depuis dix ans (opéré de cholécystite et d'appendicite). Douleurs continues et crises violentes nécessitant des piqûres de morphine. Constipation. Mars à juillet 1924 : 46 séances. Amélioration notable.

Obs. 8. — Mlle B..., 45 ans. *Algie* de la fosse iliaque droite (sans explication radiologique). A subi trois opérations : Appendicite, ovariectomie, etc... Novembre à décembre 1924 : 12 séances. Guérison.

Obs. 9. — Mlle M..., 35 ans. *Algie* du côlon gauche, adhérences, migraines. Décembre 1924 à mars 1925 : 39 séances. Amélioration marquée au début, puis rechute, puis guérison.

Obs. 10. — Mme C..., 48 ans. *Typhlalgie* (opérée d'appendicite il y a quatre ans). Amaigrissement, gêne de la

marche, constipation. Juillet à septembre 1925 : 25 séances. Amélioration sensible.

Obs. 11. — G..., 31 ans. *Algie cæco colique* (peut-être bacillaire). Avril à juillet 1924 : 35 séances. Amélioration très nette qui se prolonge trois mois, puis rechute complète (très améliorée depuis l'ultra-violet).

Obs. 12. — Mlle R..., 28 ans. Syndrome douloureux du carrefour (opérée d'appendicite à neuf ans). A commencé à souffrir à onze ans. Février à juin 1925 : 16 séances. Guérison.

Obs. 13. — Mme D..., 37 ans. *Périviscérite* ancienne. A eu un ulcère de l'estomac, a été opérée d'appendicite, d'hématocèle. Janvier à mars 1926 : 35 séances. Amélioration marquée (A interrompu pour affection génitale intercurrente).

Obs. 14. — M. M..., 49 ans. *Périviscérite* du côlon droit. Juin et juillet 1924 : 8 séances. Soulagement léger.

Obs. 15. — M. B..., 23 ans. *Epiploïte*. Appendicectomie il y a 4 ans. Santé parfaite durant un an, puis dyspepsie et constipation, puis douleurs intenses des fosses iliaques. Novembre 1924 à avril 1925 : 54 séances. Guérison complète.

Obs. 16. — Mme D..., 26 ans. *Pérityphlocolite* Opération de kyste de l'ovaire il y a trois ans, et d'appendicite et

adhérence il y a un an. Depuis, continue à souffrir quoique moins. Juin à juillet 1926 : 18 séances. Amélioration légère.

Obs. 17. — Mlle M..., 17 ans. *Pérityphlocolite* depuis plusieurs mois (colite ancienne). Octobre à décembre 1926 : 18 séances. Amélioration.

Obs. 18. — Mme J..., 35 ans. *Péricolite* depuis deux ans (colite ancienne). Février à juillet 1926 : 45 séances. Grosse amélioration. Avait des hémorroïdes que le traitement n'a pas améliorées et qu'on a dû opérer.)

Obs. 19. — Mme B..., 26 ans. *Péricolite rebelle*. Janvier à juin 1926 : 26 séances (trop espacées). Amélioration.

Obs. 20. — M. A..., 42 ans. *Pérityphlocolite* et *périviscérite* du carrefour supérieur depuis deux ans. Décembre 1925 à janvier 1926 : 20 séances. Amélioration marquée.

Obs. 21. — Mme L..., 32 ans. *Colite avec adhérences*. Violentes crises douloureuses depuis deux ans. (*Adhérences vérifiées radiologiquement.*) Mars à juin 1926 : 37 séances. Amélioration.

Obs. 22. — B..., 18 ans. *Colite* depuis dix-huit mois. Adhérences probables. Cas particulièrement sévère (appendicectomie dans l'enfance). Mai 1924 à avril 1925 : 55 séances. Guérison presque complète.

Obs. 23. — Mme F..., 65 ans. *Adhérences*, ptoses, constipation, algies. Souffre depuis 10 ans. Opérée il y a un an pour adhérences, ce qui l'a soulagée. Juin à septembre 1925 : 28 séances. Guérison. (Maintenue un an après.)

Obs. 24. — Mme T..., 37 ans. *Adhérences cæcales* (vérifiées à la radiographie). Appendicectomie ancienne, gystérectomie ancienne. Douleurs continues et exacerbations, avec vomissements, constipation, etc. Mars à juin 1926 : 27 séances. Amélioration légère.

Obs. 25. — Mme L..., 37 ans. *Epiploïte* et adhérences droites (appendicectomie et hystérectomie anciennes). Octobre 1925 à février 1926 : 37 séances. Huit mois de grosse amélioration puis rechute moins intense.

Obs. 26. — M. G..., *Cholécystite calculeuse*. (Calcul constaté radiologiquement). Avril à mai 1926 : 18 séances. Amélioration.

Obs. 27. — M. C..., 24 ans. *Cholécystite*. Mai à juillet 1926 : 22 séances. Grosse amélioration.

Obs. 28. — D^r G. ., Douleurs vésiculaires se produisant par crises. 15 séances. Guérison.

Conclusions

1° La diathermie n'est qu'une modalité d'application des courants de haute fréquence, c'est donc le Professeur d'Arsonval qui en est le véritable créateur.

2° On peut prévoir et expliquer dans une large mesure les propriétés du courant de haute fréquence si l'on connaît très bien les lois auxquelles il obéit et les conditions d'applications.

3° Le courant de haute fréquence obéit aux lois des courants alternatifs.

4° Dans la diathermie, la majorité des actions caractéristiques dépend de la fréquence. Celle-ci joue un rôle primordial.

5° Les actions thérapeutiques varient avec la forme particulière des courants de haute fréquence utilisés. Les appareils à lampe qui produisent des courants de caractéristiques différentes ont des indications d'utilisation particulières. Ils ne sont pas en tous cas interchangeable.

6° Dans l'action physiologique de la diathermie, il y a des actions primitives et des actions secondaires.

7° Les actions primitives sont dues directement

au courant, les actions secondaires dépendent le plus souvent, de l'action calorifique.

8° Les actions calorifiques et vaso-constrictives sont primitives, l'action vaso-dilatatrice est secondaire.

9° Seuls les appareils à éclateur donnent de la vaso-construction, d'où une plus grande élévation de température pour une même intensité, avec ces appareils qu'avec ceux à lampes, l'organisme se refroidissant moins bien.

10° Par la vitalité supplémentaire qu'ils confèrent aux tissus, les courants de haute fréquence ont une action élective dans les congestions organiques, les adhérences et en règle générale partout où il y a troubles circulatoires ou nutritifs.

Vu : le Président de la thèse,

P. STROHL.

Vu : le Doyen,

BALTHAZARD.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY.

Bibliographie

- D'Arsonval*. — 1878. Mécanisme d'excitation électrique des nerfs et des muscles.
- 1889-1890. Action des interruptions croissantes.
 - 1892. Effet physiologique de l'état variable en général et des courants alternatifs en particulier.
 - 1898-1900. Expériences sur les courants de haute fréquence au collège de France.
(Voir pour toutes ces années les *Archives d'électricité médicale*).
 - 1927. L'échauffement des tissus par les courants de haute fréquence (C. R. Académie des sciences, tome 185, p. 324).
- Antony et Dillenseger*. — La diathermie employée comme cholérétique au cours du tubage duodénal (Bulletin de la société française d'électrothérapie, 1930, p. 79).
- Aymard*. — Presse médicale, 10 déc. 1921, p. 981.
- Aymard et Rousseau*. — Presse médicale, 17 janvier 1923, p. 47.
- Bordier*. — Diathermie et diathermo-thérapie. Baillière, édit.
- Boll*. — Les électrons et les applications de l'électricité. Albin Michel, édit.
- Bertoloty (de Madrid)*. — Les reacciones dolorosas en diaterminia unifa; 1925, p. 213.
- Burrows et Carter*. — Bristish Med. journal, 1918, p. 535.
- Caussade et Hanriot*. — Soc. Med. de Nancy, 11 janvier 1922.
- Gluzet et Chevallier*. — Sur la mesure et le mode d'action du courant de haute fréquence redressé (*Archives d'électricité médicale*, n° 539, p. 339. Et la Médecine, mai 1928).
- Bulletin de la Société de biologie, fév. 1931.
- Delherm et Laquerrière*. — Bulletin de la Société française d'électrothérapie, mars 1911.
- *Archives d'électricité médicale*, tome II, p. 91.
- Desnoyer*. — Thèse de Montpellier, 1900.

- Diathermie et affections abdominales (Journal médical français, avril 1927).
- L'électrothérapie dans le traitement de l'appareil digestif et de ses annexes.
- Les indications de la diathermie médicale (Bulletin de la Société française d'électrothérapie, 1930).
- Denier.* — Bulletin de la Société française d'Electro-radiologie, 1930, page 213.
- Dubost.* — De la mesure de la conductibilité électrique du corps humain. Thèse de Paris, 1928.
- Duhem.* — Les applications médicales de la diathermie (Bulletin de la Société d'Electrothérapie, oct. 1926).
- Fabry.* — Sur le calcul de la chaleur dégagée par les courants de haute fréquence (C. R. Ac. sciences, t. 185, p. 684, 1927).
- Kiritschinsky* (de Kieff) — Action locale des courants de haute fréquence, vaso-constriction, tonus musculaire, équilibre trophique (Physiothérapie, janv.-fév. 1928, p. 39-44).
- Nemours* (*Auguste*). — Traitement des affections douloureuses abdominales par la diathermie (Journal de médecine de Paris, avril 1929).
- Pariseau* (*Léo*). — Recherche sur la répartition de l'échauffement produit en profondeur par les courants de haute fréquence (Bulletin de la Société française d'Electrothérapie, 1929, p. 256).
- Roucarrol.* — Action de la diathermie dans la blennorragie (C. R. Ac. des sciences, t. 182, p. 667).
- Strohl.* — Calcul de la quantité de chaleur dégagée par la d'arsonvalisation diathermique (Bulletin de la Société de Biologie, mars 1929).
- Sur la conductibilité des tissus en haute fréquence et l'échauffement diathermique (Bulletin de la Société française d'Electrothérapie, février 1929, page 56).
- La conductibilité électrique du corps humain (Masson, édit).
- Sur les chémas électriques équivalant au corps humain (Bull. Soc. fr. Electro, page 295).

4395. — Imp. de la Faculté de Méd. Jouve et Cie 15, rue Racine Paris. — 6-31
